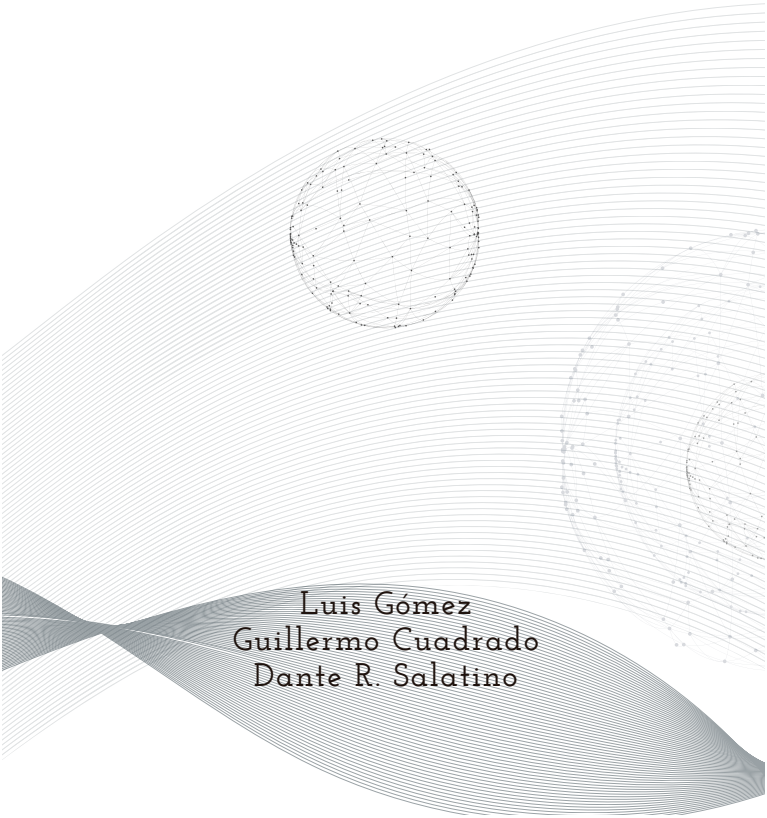
INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA



Luis Gómez
Guillermo Cuadrado
Dante R. Salatino

Universidad Tecnológica Nacional

Rector: Ing. Héctor Aiassa

Vicerrector: Ing. Haroldo Avetta

Facultad Regional Mendoza

Decano: Esp. Ing. José Balacco

Vicedecano: Ing. Ricardo Antonio Fuentes

Secretaria Académica: Prof. Liliana Ruth Repetto

Subsecretaria Académica: Lic. Norma Sirmovitsch

Secretario Administrativo: Ing. Angel Oscar Pitton

Secretario de Extensión Universitaria: Ing. Carlos O. Mallea

Secretario de Ciencia, Tecnología y Posgrado: Ing. Antonio Alvarez Abril

Secretario de Asuntos Estudiantiles: Ing. Adrián Sierra

Secretario de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones: Ing. Jorge Abraham

Apoyaron la publicación de este libro:

Departamento de Ciencias Básicas, FRM UTN

Secretaría de Extensión Universitaria, FRM UTN

Grupo de Investigación en Matemática Aplicada a la Ingeniería
y Gestión (IEMI), FRM UTN

Departamento de Sistemas, FRM UTN

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Mendoza

INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Luis E. Gómez - Guillermo A. Cuadrado
Dante R. Salatino
(Editores)

2019

Investigación y Educación en Ciencias de la Ingeniería

Editores: Luis Eduardo Gómez; Guillermo Alberto Cuadrado; Dante Roberto Salatino

Diseño de cubierta: Guillermo José Cuadrado

Primera edición. Mendoza, 2019.

Gómez, Luis Eduardo; Investigación y Educación en Ciencias de la Ingeniería / Luis Eduardo Gómez; Guillermo Alberto Cuadrado; Dante Roberto Salatino. - 1a ed.- Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Mendoza, 2019.

552 p.: 22 x 15 cm.

ISBN 978-950-42-0195-3

1. Ciencia. 2. Ingeniería. 3. Educación. I. Cuadrado, Guillermo Alberto. II. Salatino, Dante Roberto. III. Título.

CDD 507.11

Facultad Regional Mendoza,
Universidad Tecnológica Nacional
Rodríguez 273, Ciudad
M5502JMA Mendoza, Argentina

ISBN 978-950-42-0195-3

9 789504 201953

Impreso en Argentina - Printed in Argentina
Queda hecho el depósito que marca la Ley 11.723

Índice

Prólogo 12

Autores y Filiación 22

I. Aportes a la Educación en Ingeniería 25

1 Desarrollo de Capacidades en el Ingreso a Ingenierías. 26

María Patricia Garrido, María Eugenia Panella, Sandra Segura, Adriana Schilardi

2 Educación para la Ingeniería del Siglo XXI - Programa para la Enseñanza de la Tecnología 36

Antonio Alvarez Abril, Santiago Cristóbal Perez, Higinio Alberto Facchini

3 Sustentabilidad del Recurso Hídrico - Una Cátedra Convocante 46

Víctor Hugo Burgos, Clarisa Fabiana Israel

4 Uso del Aula Virtual: Análisis de un Modelo Orientado a Objetos 55

Julio Monetti, Mariana Brachetta, Oscar A. León, Bianca E. Sozzi, Mercedes Muñoz Patiño

5 Inclusión de la Sostenibilidad Ambiental en las Carreras de Ingeniería Civil de la UTN – Etapa Diagnóstica de Docentes 63

Miguel Tornello, Edgardo Ghellinaza, Miriam López, José Flores

6 Inclusión de la Sostenibilidad Ambiental en las Carreras de Ingeniería Civil de la UTN – Etapa Diagnóstica de Alumnos 79

Miguel Tornello, Edgardo Ghellinaza, Miriam López, José Flores

7 Mejora de los Indicadores Académicos del Espacio Curricular Matemática: una Experiencia en la FCA-UNCUYO 96

Verónica Noemí Nodaro, Marta Eugenia Tirador, Marcela Laura Garriga

8 Una Propuesta de Integración de Saberes de dos Ciencias Básicas: Álgebra Lineal y Análisis Matemático 104

Noemi Sonia Vega, Gabriela Beatriz Tomazzeli

9 La Importancia de la Competencia Lingüística en la Resolución de Problemas Matemáticos en la Lengua Extranjera Inglés 120

Claudia Viviana Latorre Ardizzone

10 Acompañamos tu Buen Rendimiento 125

Anahí Aracelis Obredor, María Cristina Vargas

II. Aplicaciones e Investigaciones en Ciencia y Tecnología 141

11 Visualización Gráfica en Estrategias de Modelado Predictivo en Configuraciones Causa–efecto 143

José Balacco, Edgardo René Sparacino, Juan Martín Wiens, Valeria Espartaro, Matilde Inés Césari, Ricardo Manuel Césari

12 Laboratorio de Emocionalidad – Neuroingeniería en el CeReCoN 159

Antonio Alvarez Abril, Santiago Cristóbal Perez, Higinio Alberto Facchini, Nelson Dugarte Jerez, Matilde Inés Césari

13 Análisis de la Afectividad y la Evaluación del Trastorno del Espectro Autista TEA – Diseño Experimental de una Plataforma Biométrica en el CeReCoN 170

Antonio Alvarez Abril, Santiago Cristóbal Perez, Higinio Alberto Facchini

14 Una Introducción a la Topología Molecular 188

Marcela Rodríguez, Ana María Narvaez

15 Recuperación de Información acelerada con Algoritmos de Minería de Datos 202

Hugo Emilio Ryckeboer, Osvaldo Mario Spositto, Mauro Javier Casuscelli, Lorena Romina Matteo, Julio César Bossero

16 Análisis de Vibraciones Torsionales de Cigüeñales de Motores de Combustión Interna Provistos de Amortiguador Torsional 215

Cristian Giner, Carlos Bello, Adrián Flamant

17 Verificación de la Trazabilidad con Materiales de Referencia Certificados 228

Julio Ortigala

18 Contaminación Acústica en la Ciudad de Mendoza, Análisis de Caso y Recomendaciones 240

César Eduardo Boschi, Salvador Enrique Puliafito

19 Análisis Numérico del Anclaje en el Forjado de Tubos de Acero 253

Claudio Careglio, Nicolás Guillermo Tripp, Anibal Mirasso

20 Avances en el Proyecto para detección precoz y neurofeedback en personas con síndrome del espectro autista TEA 267

Antonio Álvarez Abril, Santiago Perez, Nelson Dugarte Jerez, Adolfo Florentino González

21 Avances en el Desarrollo de un Sistema de Espirometría con Correlación ECGAR para la Detección Temprana de Enfermedades Cardiorrespiratorias 280

Antonio Álvarez Abril, Santiago Perez, Nelson Dugarte Jerez, Adolfo Florentino González

22 Sistema Integrado de Estetoscopio Digital y ECGAR 293

Antonio Álvarez Abril, Santiago Perez, Nelson Dugarte Jerez, Adolfo Florentino González

23 Diseño de Sistema de Control para Equipos Médicos Implementados en Personas con Movilidad Reducida 308

Antonio Álvarez Abril, Santiago Perez, Nelson Dugarte Jerez, Adolfo Florentino González

24 Aprendizaje organizacional y proceso de decisión: Etapas de Integración 321

Esteban Anzoise, Cristina Scaraffia, Julio Cuenca

25 Aprendizaje organizacional y proceso de decisión: Impacto del uso de Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión 333

Esteban Anzoise, Cristina Scaraffia, Julio Cuenca

26 Diseño de instrumento para medir la difusión de las Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión 347

Esteban Anzoise, Cristina Scaraffia, Julio Cuenca

27 Nueva Generación de Infraestructuras. Lecciones y Desafíos sobre Riesgos Emergentes 359

Gustavo A. Masera, Javier Ulises Ortiz, Ricardo Palma

28 Nueva Estrategia de Sintonización Dinámica para un Método de Reducción de Incertidumbre 375

Paola Caymes Scutari

29 Obtención de los Pares de Torsión en Manipuladores Robóticos Industriales en el Marco de un Proceso por Etapas 389

Emanuel Maximiliano Alveal, Alejandro A. Hossian

30 REPI: la Descentralización del Conocimiento Académico 404

Jorge Luis Favier

III. Fundamentos Epistemológicos de la Tecnología 422

31 Inducción: Posibilidades y Prevenciones 424

Guillermo Cuadrado, Juan Redmond

32 Modelización de Sistemas Abiertos en Clave Lúdica 447

Juan Redmond, Rolando Rebolledo

33 La Innovación Tecnológica y el Pensamiento Objetivo 462

Juan Ernesto Calderón

34 Los Modelos y las Funciones de la Analogía 471

Luis Eduardo Gómez

IV. Foro Jurídico: El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) 494

35 Implementación del Aprendizaje Basado en Proyectos en la Cátedra Legislación e Ingeniería Legal. Consideraciones generales 496

María Elena Sottano

36 Aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos. Impacto y relaciones en el medio universitario 504

Alicia Irene Vesella, Raul Francisco Romero Day

37 El desafío de educar en competencias. Competencias y habilidades para el futuro profesional en el Siglo XXI 512

Gabriela Alejandra Millares

38 Innovar. Metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) 521

Sebastián Alfredo Calvi

39 Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) en la cátedra de Legislación en carreras de Ingeniería de UTN-FRM 2018 535

María Cecilia Cipolla

40 Impacto en la Sociedad del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) 542

Raul Francisco Romero Day, Alicia Irene Vesella

* * *

Prólogo

A partir del último cuarto del siglo XX, las reflexiones sobre tecnología y educación en ingeniería, han crecido en forma sostenida. Entre otros factores, los cambios tecnológicos modifican los hábitos y prácticas de las sociedades humanas. En el caso de la ingeniería, eso ocurre de manera recursiva, ya que ella es causa, y a la vez destino, de esas modificaciones. Y, naturalmente ese hecho afecta las carreras que estudian los ingenieros.

En el trascurrir de la historia, esa formación estuvo guiada por el interrogante "cómo funcionan" los objetos de la ingeniería. Luego, con la irrupción de las ciencias en la ingeniería se agregó la pregunta científica: "por qué funcionan". Por cierto, la realidad actual sugiere interrogar por los fines: "para qué y para quién funciona y cuáles son sus consecuencias". En ese mismo sentido, las carreras de ingeniería requieren que se les preste atención, por los beneficios que prometen y para evitar riesgos recónditos. Hay que destacar, que dirigir el interés hacia los asuntos relacionados con la tecnología, para resolverlos acertadamente, es una responsabilidad de las comunidades académico-científicas en general y de las facultades de ingeniería en particular.

Cabe agregar, que cuando la informática y las tecnologías de la comunicación se generalizaron, las personas incrementaron su interacción con la información y el conocimiento, usando aparatos y dispositivos para esos propósitos. Este hecho generó nuevas situaciones epistémicas que es necesario comprender, para desempeñarse en esta nueva realidad. En ese mismo sentido, la actividad universitaria debe señalar rumbos posibles, motivo por el cual interesan las reflexiones y pers-

pectivas que luego justifican cambios en los principios, ideas y prácticas, que se enseñan en las carreras de ingeniería.

Por las consideraciones anteriores, la Facultad Regional Mendoza, UTN organiza cada dos años los *Congresos Internacionales de Enseñanza de Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería* (*ECEFI*). Se trata de una actividad que se realiza con la colaboración de docentes de Facultades, Centros e Institutos de la Universidad de Valparaíso (Chile), la Universidad Cuyo, la Universidad de Mendoza, y otras Facultades Regionales de la UTN. Los mismos tienen la finalidad de reflexionar sobre la enseñanza y la práctica de las ciencias de la ingeniería en un ámbito de interacción social y cordialidad, que facilita el diálogo directo y abierto entre los autores y los participantes. Por cierto, conviene resaltar que en estos encuentros, la crítica constructiva de los trabajos presentados forja vínculos de consideración entre los académicos de Chile y de Argentina.

En mayo de 2018, la resolución N° 592 de la Facultad Regional Mendoza, UTN, autorizó la realización conjunta del *Quinto Congreso Internacional de Educadores en Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería: ECEFI 2018* y del *Segundo Foro sobre Creatividad, Investigación y Lógica Transcursiva*, que se realizaron los días 4 y 5 de octubre de 2018. Los Congresos *ECEFI* se vienen realizando cada dos años y sin interrupciones desde 2010, y siempre se efectuó una selección de los trabajos presentados que fueron impresos. En lo que se refiere a esta publicación, la misma está organizada en cuatro secciones que comprenden: I. Aportes a la Educación en Ingeniería; II. Aplicaciones e Investigaciones en Ciencia y Tecnología; III. Fundamentos Epistemológicos de la Tecnología; IV. Foro Jurídico: El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP). Cada sección está compuesta por capítulos que exhiben la riqueza de temas y perspectivas que tienen los campos de conocimiento señalados.

La sección I referida a “Aportes a la Educación en Ingeniería” agrupa diez capítulos referidos a fundamentos, conceptos y prácticas en las ciencias de la ingeniería. El primer capítulo propone el desarrollo de capacidades en el ingreso a las Ingenierías, que reflejen los estándares de acreditación de segunda generación del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería. El segundo capítulo presenta un programa de formación académica cuyo objetivo es la generación de nuevos modelos de enseñanza-aprendizaje desde una perspectiva que tiene en cuenta las neurociencias, las tecnologías y redes de conocimiento activo. El tercer capítulo presenta estrategias para desarrollar competencias específicas y genéricas, mejorando el aprendizaje significativo de los estudiantes de la FRM-UTN, en la sustentabilidad del recurso hídrico. El cuarto capítulo, referido a la cátedra ‘Paradigmas de Programación’, se orienta a registrar los aspectos que a los alumnos les resultaron más significativos para estudiar el tema ‘modelo orientado a objetos’. El quinto capítulo, presenta un proceso de revisión del diseño curricular de la carrera de Ingeniería Civil, partiendo de un proyecto orientado al estudio y formulación de estrategias de gestión académica para formar ingenieros civiles. El mismo busca introducir conceptos e instrumentos para comprender y apreciar el ambiente y su complejidad, entender la relación entre la actividad humana y el medio, e integrar el factor ambiental.

En sintonía con el capítulo anterior, el sexto busca la adecuación del currículo para introducir conceptos e instrumentos orientados a valorar el ambiente y su complejidad, y comprender la relación entre la actividad humana y el medio, integrando los factores ambientales en la actividad de los ingenieros civiles. Importa destacar que en este proyecto sobre estrategias didácticas y metodológicas sobre conocimientos ambientales participaron cinco facultades regionales de la UTN. En cambio el capítulo séptimo presenta una mejora de los indicadores académicos relacionados con la regularidad en el cursado y la aprobación de la cátedra ‘Matemática’ en FCA-UNCuyo. Para ello se implementaron dos tipos de acciones: una fue la realización de tutoriales complementarios con ‘Ma-

temática', con evaluaciones periódicas que miden el trabajo realizado y permiten encaminar el examen final de Matemática; la otra, incluyó el uso de las TICs en el proceso de enseñanza-aprendizaje. El capítulo octavo examina casos de integración de conceptos durante el cursado de 'Álgebra y Geometría Analítica' y 'Análisis Matemático I', ambas de primer año de la FRM-UTN. El noveno capítulo ind'ga la importancia de que los estudiantes desarrollen competencias lingüísticas en inglés, resolviendo problemas de Matemática, Física y Química en esa lengua. Para ello se indica cómo se enseñan ciertos aspectos de la interpretación y el análisis textual. El décimo capítulo presenta una experiencia orientada a integrar alumnos destacados en actividades científico-tecnológicas, como tutorías, laboratorios, mentorías, becas, grupos de investigación, entre otros, con el objetivo de que estos logren antecedentes para su currículo y desarrollen otras competencias.

Para continuar, la sección II, "Aplicaciones e Investigaciones en Ciencia y Tecnología", tiene veinte capítulos relacionados con las ciencias de la ingeniería, cuya diversidad de temas es coherente con los campos de conocimiento que atiende. El décimo primer capítulo se refiere a la visualización gráfica en estrategias de modelado predictivo, que es una técnica estadística multivariante. La misma es esencial para investigar en las ciencias humanas, como sensometría, marketing, psicología, entre otras, pero además, tiene un gran potencial de aplicación en Ingeniería. En ese sentido, el trabajo plantea la generación de mapas de niveles de intensidad de campos electromagnéticos. El capítulo duodécimo presenta el estado de avance de un diseño experimental piloto sobre uso de interfaces afectivas cerebro-computadora para tratamiento. También se describe un análisis de la afectividad y el modo de evaluar el trastorno del espectro autista, que afecta a una de cada cien personas, de acuerdo con ciertas estadísticas. En el capítulo décimo tercero, se tiene en consideración que las emociones predisponen y regulan el equilibrio interno del organismo para un determinado tipo de acción adaptativa. Ese criterio fundamenta la actividad del Laboratorio de Emociona-

lidad y Neuroingeniería, de la FRM-UTN, que presenta algunos avances de sus investigaciones.

Siempre en la sección II, el capítulo décimo cuarto, introduce la topología molecular, en un trabajo interdisciplinario entre el álgebra lineal y la química. Se busca establecer correlaciones entre una propiedad física, química o biológica y las estructuras moleculares, caracterizándolas numéricamente con índices topológicos, que son descriptores. La información así obtenida permite explicar y predecir propiedades físicas y químicas. En el décimo quinto capítulo, se trata el problema de segmentar un depósito documental privado de mediano tamaño y seleccionar un segmento únicamente, para acelerar la respuesta inicial. Luego, se intenta aminorar la pérdida de calidad que ese proceso provoca, usando algoritmos de minería de datos. El capítulo décimo sexto trata sobre motores de combustión interna, provistos de amortiguador torsional, donde un cigüeñal presenta el problema de los esfuerzos de naturaleza alternante. Los mismos son introducidos por el sistema biela-manivela y la geometría del cigüeñal que componen un sistema sensible a las vibraciones torsionales. Entre los resultados del trabajo están las frecuencias naturales del cigüeñal y los modos de vibración del componente con sus amplitudes.

El décimo séptimo capítulo de la sección II, trata sobre la verificación de la trazabilidad con materiales de referencia certificados. Se analiza el modo de garantizar la calidad de las mediciones en ensayos analíticos, para generar confianza en los resultados, validando los métodos de ensayo. Se eligió la trazabilidad por considerarse fundamental para comparar resultados y saber si tienen exactitud. Se eligió la norma ISO 5725-6 que permite asegurar la trazabilidad de un ensayo, pero con un ajuste, ya que la misma se orienta a los ensayos inter-laboratorios. El trabajo permite concluir que el error de estimación queda acotado, asegurando una mayor confiabilidad. El capítulo décimo octavo pone de manifiesto la problemática de los altos niveles de contaminación acústica en la Ciudad de Mendoza. Se analiza un caso para actualizar los

registros de las zonas de mayor contaminación. Se tomaron datos en distintas franjas horarias, utilizando metodologías estándares, propias y normativas vigentes. Luego, con los resultados se proponen algunas recomendaciones. El décimo noveno capítulo trata el conformado plástico de metales, muy utilizado para la fabricación de componentes en las industrias aeronáutica, automotriz y petrolera, entre otras. El trabajo usa elementos finitos para presentar un estudio numérico del anclaje en el forjado de tubos de acero. Se tienen en cuenta la cinemática de grandes deformaciones, la plasticidad y el contacto, suponiendo un proceso isotérmico, de corta duración y sin efectos inerciales.

Los próximos cuatro capítulos de la sección II son aplicaciones de la ingeniería en la medicina, un área del conocimiento en expansión. En ese sentido, el vigésimo procura identificar el *síndrome del espectro autista* usando registros electroencefalográficos, plataformas de biorretroalimentación y los correlaciona, con el propósito de realizar sesiones de terapia activa del paciente. La sesión se implementa en un ambiente controlado, en el marco de realidad virtual y fotometría de escénica modelada en 3D de su vida cotidiana. Por otra parte, el vigésimo primer capítulo se funda en la existencia de un grado de correlación alto entre el trabajo pulmonar y la respuesta cardíaca. En base a ello se presenta un sistema que integra técnicas espirométricas con la electrocardiografía de alta resolución, para detectar índices cualitativos y cuantitativos. Estos últimos, permiten que el médico especialista pueda diagnosticar con mayor definición y con ello, detectar enfermedades del sistema cardiorrespiratorio, en su fase temprana. El vigésimo segundo capítulo presenta el desarrollo de una plaqueta de adquisición de datos, que integra un sistema que realiza análisis comparativos de señales que provienen de los sonidos cardiopulmonares y del electrocardiograma de alta resolución. En tanto que el vigésimo tercer capítulo explica una técnica que controla mandos electrónicos de instrumentos mecanizados, para personas con movilidad parcialmente reducida. El mismo se elaboró con una plataforma Arduino y un circuito provisto de un *joystick* que controla el instrumento con

pequeños movimientos y mínimo esfuerzo por parte del paciente.

La sección II trata aspectos del aprendizaje organizacional, en los siguientes tres capítulos. Así, el vigésimo cuarto sostiene que, desde una perspectiva neo-darwiniana, el aceleramiento de los procesos de aprendizaje organizacional ayuda a las organizaciones a crecer y sobrevivir en un contexto cambiante. Esta situación demandaría mejorar el proceso de decisión en todos los niveles. Luego, para determinar esa mejora, se comparan procesos de decisión y se relacionan con el grado de estructuración de los problemas a resolver, el tipo de decisores y su relación con el nivel de incertidumbre. En tanto que el vigésimo quinto capítulo muestra cómo influye el uso de herramientas de apoyo al proceso de decisión en el aprendizaje organizacional, en un contexto de cambios. El vigésimo sexto desarrolla un cuestionario, basado en la teoría del comportamiento planeado, en la que actitudes, normas subjetivas y percepciones del control del comportamiento determinan la intención del comportamiento. Con el cuestionario se busca medir la intención de uso de herramientas orientadas a modelos, en los procesos de decisión de organizaciones de base tecnológica y financieras, con el propósito de identificar los factores de difusión de las herramientas de apoyo al proceso de decisión.

El vigésimo séptimo capítulo analiza los desafíos que deberán afrontar las infraestructuras críticas, como las relacionadas con la energía, el transporte, las tecnologías de la información y comunicación. Se plantea que en los próximos años, los riesgos emergentes en las infraestructuras críticas serán cuestiones de máximo interés en las agendas de todos los países. El vigésimo octavo, se refiere a un método de reducción de la incertidumbre que utiliza estadística, computación de alto rendimiento y estrategias evolutivas, con un algoritmo de evolución diferencial (ESSIM-DE), que está orientado a la búsqueda de mejores soluciones. Mientras que el trabajo presenta una nueva estrategia de sintonización dinámica, que

calibre su rendimiento de un modo transparente al usuario final. El vigésimo noveno capítulo describe un modelo dinámico, que determina las etapas que sigue un manipulador robótico industrial. El modelo determina matemáticamente la cinemática y la dinámica del robot, para lograr que las fuerzas aplicadas en las articulaciones generen movimientos en trayectorias determinadas. El trigésimo plantea la realización de una radio escuela por Internet (REPI), entendida como un espacio de producción, construcción y aprendizaje de conocimientos cercanos al estudiante. Se trata de un medio hecho por y para los miembros de la unidad académica, que ofrece múltiples posibilidades ligadas a los contenidos curriculares.

La sección III, "Fundamentos Epistemológicos de la Tecnología", sólo tiene cuatro capítulos relacionados con ciertos temas, que hacen referencia a los fundamentos de las ciencias de la ingeniería. El capítulo trigésimo primero, se ocupa de la *inducción incompleta*, un método de obtención de conocimiento, muy aplicado tanto como criticado. El mismo parte de algunos fenómenos observados y con ellos realiza generalizaciones, cuya justificación se funda en ciertos principios metafísicos, como el de uniformidad de la naturaleza o el de inducción. El trabajo presenta los tipos de inducción que existen y evalúa su aplicación en la ciencia y en la tecnología, ya que las afirmaciones provenientes de inducciones incompletas parten de instancias verdaderas en las premisas y luego, no necesariamente son verdaderas en la conclusión. El trigésimo segundo capítulo trata algunos problemas actuales que plantean los sistemas dinámicos abiertos, muy usados en física y biología. Entre ellos se destacan las siguientes ausencias: a) la de un análisis sobre el *azar* y la *causalidad*, con fundamentos en un enfoque filosófico de los sistemas abiertos; b) la de una caracterización de los intercambios entre el sistema principal y su entorno; la de presupuestos ontológicos y epistemológicos, que operan cuando se realizan simulaciones de fenómenos naturales no aislados, como sistemas abiertos.

El trigésimo tercer capítulo, plantea que si bien la innovación tecnológica es un elemento esencial para el desarrollo, su análisis metodológico y epistemológico es un asunto no tratado suficientemente. Para ello se indaga sobre la innovación tecnológica usando la teoría de los tres mundos de K. Popper. De ese modo, la contribución muestra cómo: 1) el pensamiento transforma el mundo y cómo ese proceso se retroalimenta continuamente; 2) el conocimiento científico aplicado a la innovación tecnológica se ubica dentro del pensamiento objetivo. El capítulo trigésimo cuarto, referido a modelos y analogías en las ciencias fácticas, sostiene que los modelos permiten interpretar los datos experimentales, en función de ciertas hipótesis vinculadas con un problema y un contexto, que les dan significado, valor cognitivo y social. Dos modelos análogos, en su estructura formal, podrían describir sistemas de objetos análogos en su estructura real. Sin embargo, modelos y analogías adecuadas no garantizan que se establezcan explicaciones o aplicaciones exitosas, ya que información valiosa puede conducir por analogía a interpretaciones y diagnósticos erróneos.

La sección IV, “Foro Jurídico sobre el Aprendizaje Basado en Proyectos” tiene cinco capítulos. El trigésimo quinto describe la implementación del aprendizaje basado en proyectos en *Legislación e Ingeniería Legal*, metodología utilizada el desarrollo de habilidades cognitivas y socio afectivas en los estudiantes, investigando en un proyecto por un período de tiempo extendido y respondiendo a una pregunta compleja. En cambio, el trigésimo sexto capítulo trata cómo se incorporó a la cátedra el aprendizaje basado en competencias, cuyos propósitos son: adquirir los conocimientos de la carrera, desarrollar habilidades para ponerlos en práctica y fortalecer las actitudes para desenvolverse dentro de un sistema de valores. El trigésimo séptimo examina la transversalidad de las materias, para lograr un aprendizaje integrado en un proyecto orientado a la Sociedad, para devolverle parte del apoyo brindado a la Universidad.

El trigésimo octavo, indaga nuevos enfoques para afrontar problemas existentes o necesidades insatisfechas. Luego, el desafío de educar en competencias, trae un nuevo problema, que requiere de acciones distintas para lograr una solución adecuada. Para ello se focalizan los modelos educativos exitosos, y se adaptan a las cátedras legales de la FRM-UTN. El capítulo trigésimo noveno, analiza los resultados de implementar el método de aprendizaje basado en proyectos en *Legislación,* que cambió la metodología tradicional de la cátedra. Como resultados se destacan: la reacción de asombro y preocupación en los estudiantes y, cierta resistencia, motivada por la exigencia de protagonismo y por el desafío que significa alcanzar un objetivo concreto. Finalmente, el cuadragésimo capítulo, procura resignificar aquellas cosas que parecen carecer de valor o de expresión, las que a veces, en forma inesperada, se transforman e invitan a ser estudiadas, para llegar al fondo de su condición. De este modo, surge un cambio en la metodología de impartir la cátedra, como es el caso del aprendizaje basado en proyectos, que implica desarrollar cierta capacidad de observación, con una finalidad práctica y un profundo sentido social, propio de esta modalidad en permanente revisión y rediseño.

En las cuatro secciones señaladas, el lector podrá encontrar una importante variedad de temas, con enfoques novedosos, que ponen de manifiesto, entre otras cosas, el interés de los autores hacia los problemas que surgen de las ciencias de la ingeniería, así como el esfuerzo que los mismos realizan para intentar resolverlos acertadamente. Y para concluir, es importante destacar que el *V Congreso Internacional de Educadores en Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería. ECEFI 2018,* fue posible gracias a la Facultad Regional Mendoza, UTN, que lo organizó y realizó y además, hizo posible esta publicación.

Guillermo Cuadrado

Mendoza, agosto de 2019

Autores y Filiación

Rebolledo, Rolando; Universidad de Valparaíso, Chile
Redmond, Juan; Universidad de Valparaíso, Chile
Álvarez Abril, Antonio; Universidad Tecnológica Nacional
Alveal, Maximiliano; Universidad Tecnológica Nacional
Anzoise, Esteban: Universidad Tecnológica Nacional
Balacco, José; Universidad Tecnológica Nacional
Bello, Carlos; Universidad Tecnológica Nacional
Boschi, César Eduardo; Universidad Tecnológica Nacional
Bossero, Julio César; Universidad Nacional de La Matanza
Brachetta, Mariana; Universidad Tecnológica Nacional
Burgos, Victor Hugo; Universidad Tecnológica Nacional
Calderón , Juan Ernesto; Universidad Nacional de Cuyo
Calvi, Sebastián Alfredo; Universidad Tecnológica Nacional
Careglio, Claudio; Universidad Nacional de Cuyo
Casuscelli, Mauro Javier; Universidad Nacional de La Matanza
Caymes Scutari, Paola; Universidad Tecnológica Nacional
Césari. Matilde; Universidad Tecnológica Nacional
Césari. Ricardo; Universidad Tecnológica Nacional
Cipolla, María Cecilia; Universidad Tecnológica Nacional
Cuadrado, Guillermo; Universidad Tecnológica Nacional
Cuenca, Julio Héctor; Universidad Tecnológica Nacional
Dugarte Jerez, Nelson; Universidad Tecnológica Nacional
Espartaro, Valeria; Universidad Tecnológica Nacional

Facchini, Higinio Alberto; Universidad Tecnológica Nacional

Favier, Jorge Luis; Universidad de Mendoza

Flamant, Adrián; Universidad Tecnológica Nacional

Flores, José; Universidad Tecnológica Nacional

Garrido, María Patricia; Universidad Tecnológica Nacional

Garriga, Marcela Laura; Universidad Nacional de Cuyo

Ghellinaza, Edgardo; Universidad Tecnológica Nacional

Giner, Cristian; Universidad Tecnológica Nacional

Gómez, Luis; Universidad Tecnológica Nacional

Gonzalez, Adolfo Florentino; Universidad Tecnológica Nacional

Hossian, Alejandro; Universidad Tecnológica Nacional

Israel, Clarisa Fabiana; Universidad Tecnológica Nacional

Latorre Ardizzone, Claudia Viviana; Univ. Tecnológica Nacional

León, Oscar; Universidad Tecnológica Nacional

López, Miriam; Universidad Tecnológica Nacional

Masera, Gustavo A.; Universidad Nacional de Cuyo

Matteo, Lorena Romina; Universidad Nacional de La Matanza

Millares, Gabriela Alejandra; Universidad Tecnológica Nacional

Mirasso, Anibal; Universidad Nacional de Cuyo

Monetti, Julio; Universidad Tecnológica Nacional

Muñoz Patiño, Mercedes; Universidad Tecnológica Nacional

Narvaez, Ana María; Univ. Tecnológica Nacional, Univ. Nac. Cuyo

Nodaro, Verónica Noemí; Universidad Nacional de Cuyo

Obredor, Anahí Aracelis; Universidad Tecnológica Nacional

Ortigala, Julio; Universidad Tecnológica Nacional

Ortiz, Javier U., UNDEF, Buenos Aires

Palma, Ricardo; Universidad Nacional de Cuyo

Panella, María Eugenia; Universidad Tecnológica Nacional

Pérez , Santiago Cristóbal; Universidad Tecnológica Nacional

Puliafito, Salvador Enrique; Universidad Tecnológica Nacional

Rodríguez, Marcela; Universidad Tecnológica Nacional

Romero Day, Raul Francisco; Universidad Tecnológica Nacional

Ryckeboer, Hugo Emilio; Universidad Nacional de La Matanza

Scaraffia, Cristina; Universidad Tecnológica Nacional

Schilardi, Adriana; Universidad Tecnológica Nacional

Segura, Sandra; Universidad Tecnológica Nacional

Sottano, María Elena; Universidad Tecnológica Nacional

Sozzi, Bianca E.; Universidad Tecnológica Nacional

Sparacino, Edgardo; Universidad Tecnológica Nacional

Spositto , Osvaldo Mario; Universidad Nacional de La Matanza

Tirador, Marta Eugenia; Universidad Nacional de Cuyo

Tomazzeli, Gabriela Beatriz; Universidad Tecnológica Nacional

Tornello, Miguel; Universidad Tecnológica Nacional

Tripp, Nicolás Guillermo; Universidad Nacional de Cuyo

Vargas, Maria Cristina; Universidad Tecnológica Nacional

Vega, Noemi Sonia; Univ. Tecnológica Nacional, Univ. Nac. Cuyo

Vesella, Alicia Irene; Universidad Tecnológica Nacional

Wiens, Martín; Universidad Tecnológica Nacional

* * *

1

Aportes a la Educación en Ingeniería

1

El Desarrollo de Capacidades en el Ingreso a Ingenierías

María Patricia Garrido, María Eugenia Panella,

Sandra Segura, Adriana Schilardi

Resumen: El propósito de este trabajo es mostrar una propuesta para desarrollar capacidades en el ingreso a la facultad de ingeniería, donde se vean reflejados los Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de las Carreras de Ingeniería en la República Argentina, aprobados por el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI). Las instituciones educativas se enfrentan con el desafío de formar estudiantes que no han conocido la vida sin internet, adquieren gran cantidad de información fuera de la universidad, tienen una sorprendente capacidad de procesamiento paralelo, son altamente multimediales y al parecer aprenden de manera diferente. Por esta razón, es que es necesaria una transformación en las prácticas tradicionales para poder llegar al estudiante que tenemos enfrente hoy. Ese es el desafío. Conectar con él, hablar su idioma, poder orientarlo en el acceso al conocimiento. Tal vez desde un aprendizaje ubicuo, acompañado de un conocimiento activo, y donde su "móvil" y el "juego" ya no sean vedados, por el contrario, tengan un espacio activo dentro de las situaciones problemáticas a que se ha enfrentado. De modo que desarrolle las capacidades necesarias para alcanzar las competencias que favorezcan su futura inserción laboral.

Palabras claves: Capacidades, competencias, ingreso, conocimiento activo, aprendizaje ubicuo

Introducción

La definición de Ingeniería y Práctica de la Ingeniería brindan la descripción conceptual de las características del graduado y

constituyen la base para el análisis de las cuestiones atinentes a su formación.

Esto lleva a la necesidad de proponer un currículo con un balance equilibrado de competencias y conocimientos académicos, científicos, tecnológicos y de gestión, con formación humanística.

Con tal fin el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) aprobó en junio de este año, en la ciudad de Rosario, el documento "Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería en la República Argentina"; el mismo fue presentado el 6 de junio de 2018 ante la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación, el Consejo Universitario Nacional y el Consejo de Rectores de las Universidades Privadas, aprovechando la fecha de conmemoración del "Día de la Ingeniería Argentina". El flamante documento, denominado "libro rojo", será a su vez presentado en nuestro país durante el Congreso Argentino de Ingeniería (CADI) que tendrá lugar entre 19 y el 21 de septiembre de 2018, en la ciudad de Córdoba.

En lo académico, el gran desafío que enfrenta CONFEDI en este proceso de reingeniería, que se debe reflejar en los estándares, tiene que ver con la migración del modelo de enseñanza a uno centrado en el alumno, en vez del clásico basado en contenidos. En esto, la definición y contemplación de las competencias de ingreso y egreso como punto de partida (ideal, por cierto) y punto de arribo, respectivamente, del proceso de formación, constituye el eje ya que supone la necesidad de un cambio de paradigma en el propio proceso.

En las siguientes tablas I y II, se pueden ver las competencias genéricas de ingreso y egreso trabajadas por el CONFEDI.

Tabla I. Ingeniería. Competencias genéricas de ingreso.
Fuente: Libro Rojo de Confedi.

Competencias básicas	**Competencias transversales**
1.Comprensión lectora.	

2.Producción de textos 3.Resolución de problemas: esto implica ser capaz de codificar, almacenar, recuperar y transformar información, monitorear y evaluar la propia actuación.	1. Autonomía en el aprendizaje 2. Destrezas cognitivas generales:
Competencias específicas para carreras de ingeniería 1. Análisis de una función o un fenómeno físico o químico sencillo a partir de su representación gráfica o de sus ecuaciones matemáticas. 2. Reconocimiento y utilización de conceptos en matemática, física o química. 3. Reconocimiento y análisis de propiedades físicas o químicas de la materia en ejemplos cotidianos. 4. Transferencia del conocimiento científico de física, química y matemática a situaciones problemáticas variadas. 5. Utilización de la computadora aplicando lógica procedimental.	

Tabla II. Ingeniería. Competencias genéricas de egreso.
Fuente: Libro Rojo de Confedi

Competencias tecnológicas	**Competencias sociales, políticas y actitudinales**.
1. Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería. 2. Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería. 3. Gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería. 4. Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación	1. Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo. 2. Comunicarse con efectividad. 3. Actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto económico , social y ambiental de su actividad en el contexto local y global.

en la ingeniería. 5. Contribuir a la generación de desarrollos tecnológicos o innovaciones tecnológicas.	4. Aprender en forma continua y autónoma. 5. Actuar con espíritu emprendedor.

Como docentes de una Facultad de Ingeniería nos vemos en el compromiso de sumarnos a la propuesta. Sabemos que en casi toda la historia de la educación, particularmente de la educación en ingeniería, el modelo dominante fue aquel en el que el docente era el centro del proceso educativo, y aún hoy en día lo sigue siendo en numerosos lugares y para muchos profesores. Pero no podemos ignorar el cambio, debemos entender el aprendizaje centrado en el estudiante. En el año 1600 Galileo Galilei afirmaba: "*No puedes enseñar algo a alguien, sólo puedes ayudarle a que lo encuentre en su interior*".

Debemos comenzar por algo, y es por eso que nos hemos centrado en el Ingreso a la Universidad. La propuesta es trabajar con un Proyecto centrado en el desarrollo de capacidades que apunten a poner en acto las competencias antes mencionadas (Tabla I), denominado "Prácticas Educativas basadas en Resolución de Problemas a través de Juegos usando Tecnología Móvil"

El objetivo general es diseñar, desarrollar e implementar situaciones didácticas lúdicas mediadas a través de tecnologías móviles, en el ámbito de la matemática universitaria.

Mostraremos el desarrollo de una de las actividades de nuestro Proyecto, donde se ponen a prueba capacidades básicas - comprensión lectora, producción de textos, trabajar con otros, resolución de problemas, pensamiento crítico-, que ya vienen trabajándose desde el nivel secundario, y que retomaremos con el fin de que los estudiantes aproximen a las competencias necesarias para el ingreso a las ingenierías. Sin embargo, se agrega un tópico al trabajo, mediante la incorporación de situaciones didácticas lúdicas, a través de tecnologías móviles y el uso de la realidad aumentada como herramienta.

La metodología se basa en la Ingeniería Didáctica, es decir, un trabajo didáctico equiparable con el trabajo del ingeniero. A su vez, se realiza un trabajo interdisciplinario interactuando con investigadores, y becarios alumnos del departamento de ingeniería en sistemas de la información; potenciando así el desarrollo de sus propias capacidades específicas, vinculadas al quehacer ingenieril. De este modo hay un “doble beneficiario” en la propuesta, los ingresantes y quienes ya están a punto de egresar, que tienen la oportunidad de poner a prueba sus capacidades.

Una forma de desarrollar la capacidad relacionada con la autonomía en el aprendizaje es desafiar la actitud pasiva y receptiva en el aprendizaje. Esto se puede llevar a cabo con actividades que apunten a transformar la información en conocimiento a través del uso de la tecnología móvil. Cuando ésta se pone al servicio de la enseñanza de la matemática, estamos frente a una importante transformación de las prácticas tradicionales. Si, además, hacemos uso de la realidad aumentada, esto le permitirá, al alumno, obtener un escenario real de cualquier situación problemática que le sea planteada. Además le aportará información adicional que podrá utilizar para la resolución del problema planteado.

Metodología

Nuestro proyecto propone el uso de la tecnología móvil y la resolución de problemas a través de juegos como estrategias para trabajar con el concepto de función.

Para ello se diseñará la siguiente situación problemática:

Los bordillos de hormigón

Los bordillos de hormigón son piezas prefabricadas de hormigón en masa destinadas para áreas pavimentadas con tráfico o peatonales, en las que su función principal puede ser cualquiera de las siguientes dependiendo del tipo de bordillo:

- Separación de zonas de diferentes usos, como pueden ser un vial de una zona peatonal.

● Delimitación física o visual, en la que sea necesario un cambio de cota o de tipo de pavimento, así como la delimitación de zonas ajardinadas.

● Drenaje, evacuación o canalización de aguas pluviales superficiales en zonas urbanizadas, individualmente o en combinación con otros bordillos.

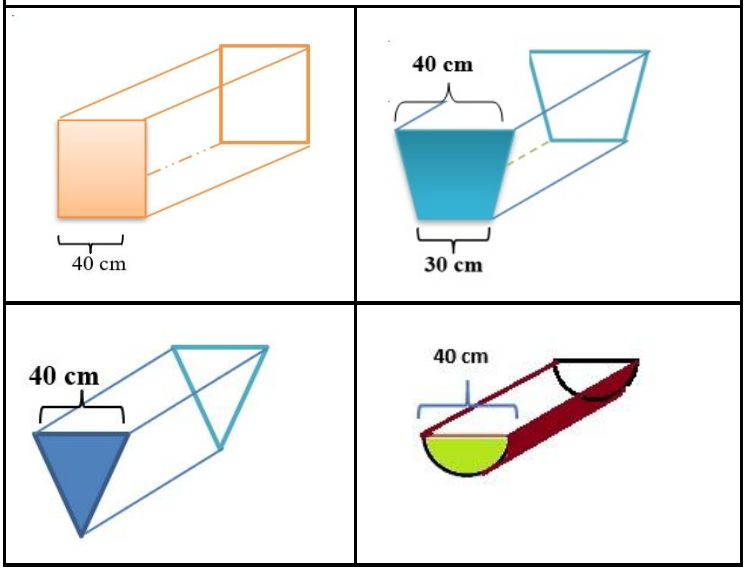
● Confinamiento de áreas pavimentada (Figura 1; Figura 2).

Figura 1. Fuente: construmática meta-portal de arquitectura, ingeniería y construcción. https://www.construmatica (consultado: abril/2018)	**Figura 2**. Fuente: http://bettips.co/ bordillos-jardin.html# (consultado: abril 2018)

Opción A: Una empresa que se dedica a construir bordillos de hormigón, quiere colocar el precio a su producto dependiendo del volumen de material que utiliza para la construcción del mismo. Para ello se evalúa el volumen que tiene cada bordillo dependiendo de la longitud y de la forma geométrica de la cara frontal.

Todos los bordillos tienen altura de 20 cm. Las formas de los bordillos son las siguientes: sección rectangular, sección trapezoidal, sección triángulo isósceles y sección trapecio isósceles (Figura 3).

Figura 3. Formas de bordillo. Fuente: elaboración propia



a) Escribir el volumen de cada bordillo en función de la longitud del mismo.

b) Si todos tienen el mismo volumen, 96000 cm^3, ¿qué longitud tiene cada bordillo?

c) Si todos los bordillos tienen 2 m de longitud, ¿cuál sería el de mayor costo?

d) En un mismo sistema de ejes cartesianos, realizar un bosquejo de la gráfica que relaciona la longitud con el volumen de cada bordillo.

e) Observando las gráficas, escribir una conjetura que relacione las gráficas anteriores con el costo de los bordillos.

A continuación se detalla cómo cada una de las tareas del problema presentado aporta al desarrollo de capacidades y por ende a la construcción de las competencias básicas de ingreso a la universidad:

Tabla III. Matriz de capacidades para el problema de los bordillos. Fuente: elaboración propia.

COMPETENCIAS BÁSICAS	CAPACIDADES	INDICADORES	TAREAS
Comprensión lectora	Generar e interpretar sistemas de símbolos, signos y marcas producidos con el fin de representar el pensamiento y comunicar. Recuperar información	Reconoce la relación del volumen de material en función de la longitud de la base y de la altura.	A-a) A-b) A-c)
Producción de textos	Producir mensajes en lengua escrita que expresen el pensamiento.	Conjetura la relación entre longitud y volumen del bordillo con el costo según el precio del cemento.	A -e)
Resolución de problemas	Codificar, almacenar, recuperar y transformar información, monitorear y evaluar la propia actuación.	Modela en gráficos cartesianos la relación entre la longitud y el volumen.	A-d)

Como esta actividad estará planteada a través de una app, en donde los estudiantes podrán ir respondiendo en primera instancia y si no lo logra, se le darán pistas hasta poder lograrlo, es que se han pensado una serie de preguntas intermedias, como por ejemplo:

Pregunta adicional:

Si todos los bordillos tienen el mismo volumen, se emplea la misma cantidad de material, y se mantiene la misma longitud, ¿Qué medidas son las que cambian, en cada bordillo, y qué valores tomarían?

Pistas:

a) Si para un bordillo de frente triangular de 1,2 m de longitud, se utilizan 96 dm^3 de cemento, ¿qué medidas podrían tener la altura y la base? Ayuda: pares de valores que verifiquen esta condición.

b) Si para el bordillo cuyo frente es un trapecio y tiene 1,2 m de longitud, se utilizan 96 dm^3 de cemento, ¿qué medidas podrían tener la altura, la base menor y la base mayor? Ayuda: ternas de valores que verifiquen esta condición.

c) Si para un bordillo de 1,2 m de longitud y cuyo frente es un semicírculo, se utilizan 96 dm^3 de cemento, ¿qué medidas podría tener la altura?

Conclusiones

Si bien el propósito de este trabajo es mostrar una propuesta para desarrollar capacidades en el ingreso a la facultad de ingeniería, según los estándares aprobados por el CONFEDI, el fin último es mucho más ambicioso. Está vinculado a realizar un aporte para evitar la deserción, el alargamiento de la Carreras de Ingeniería y el formar individuos socialmente competentes; de modo de facilitar su inserción laboral.

Desde las instituciones educativas es necesario establecer estrategias que contribuyan a dar respuestas y soluciones para mejorar los procesos de aprendizaje en la enseñanza de grado de las universidades públicas. Para esto, se considera significativa la articulación Escuela Secundaria-Universidad. El proyecto aquí mencionado, busca dar un primer paso en este sentido, promoviendo en los estudiantes una actitud de control sobre su propia producción y una construcción de autonomía intelectual, de una forma innovadora, dándole un espacio a lo que los estudiantes traen como recurso, sus móviles, y optimi-

zando su empleo en favor de la propia adquisición del conocimiento.

Con la integración de la tecnología en el aprendizaje se pretende ir más allá del simple uso del móvil, puesto que con el uso de la app se busca promover el aprendizaje autónomo y colaborativo, proporcionar el aprendizaje continuo y significativo en entornos virtuales atractivos y sofisticados para el alumno y desarrollar capacidades y competencias tecnológicas para el aprendizaje, el trabajo y la vida. Además, el proyecto pretende dar un paso más, al involucrar a los estudiantes avanzados de las ingenierías en la programación de algunas actividades. De modo de impulsar la innovación, la pertinencia y el hacer con el otro; en síntesis, el compromiso social. Acompañando de este modo el gran desafío que enfrenta el CONFEDI, y en el que todos nos vemos involucrados, de migrar del modelo de enseñanza basado en los contenidos, hacia un modelo centrado en el alumno, que busca el desarrollo de sus capacidades, es decir, trabajar con el alumno y desde él, sosteniendo estándares de calidad para su formación, que impacten en la adquisición de las competencias necesarias para su futura inserción laboral.

Referencias

CONFEDI. (1 de junio de 2018). Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería en la República Argentina “Libro Rojo de CONFEDI”

Encuentro Federal de Formación Situada (2016). Ministerio de Educación y Deportes. Instituto Nacional de Formación Docente.

Schilardi, A.; Segura, S.; León, O. y otros. (2016) “Un entorno adaptativo para la enseñanza”. En: *Actas del Cuarto Congreso Internacional de Educadores en Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería. ECEFI 2016*.

Garrido, P.; Segura, S. (2015) “Innovaciones metodológicas para el cursado intensivo en la enseñanza del Análisis Matemático I”. Actas de la Cuarta Reunión de Docentes de la UTN (Mendoza, San Rafael y Neuquén) y Tercera Reunión de Docentes de Matemática de Ingeniería.

* * *

2

Educación para la Ingeniería del Siglo XXI Programa para la Enseñanza de la Tecnología

Antonio Álvarez Abril, Santiago Cristóbal Perez,

Higinio Alberto Facchini

Resumen: La ingeniería es una de las carreras más interesantes y apasionantes que puede estudiar un ser humano, porque sin lugar a dudas ella ha sido y será el motor de grandes avances de la Humanidad. Su gran poder innovación ha cambiado los escenarios del mundo en poco tiempo y ha logrado extender y mejorar la vida de miles de millones de personas en el planeta.
EDUCACIÓN PARA LA INGENIERÍA DEL SIGLO XXI es un programa de formación académica que pone en discusión muchos de los aspectos, y apunta como objetivo central a la generación de nuevos modelos de enseñanza-aprendizaje desde una perspectiva actual basada en el vórtice esencial que está cambiando los escenarios del nuestro tiempo: neurociencias, tecnología y redes de conocimiento activo.

Palabras claves: Enseñanza de la ingeniería, educación, formación académica.

A través de la práctica de la ingeniería civil hemos podido dar vida a ciudades y soluciones habitacionales que parecían increíbles hasta hace poco tiempo; con la ingeniería en comunicaciones hemos logrado que nuestro planeta se convierta en una aldea hiper-comunicada y por primera vez en la historia de la humanidad vamos percibiendo el concepto de interconexión global. Lo que sucede aquí, nos afecta allá. Con la tecnología biomédica hemos logrado prolongar la vida de las personas hasta edades avanzadas y con el desarrollo de tomografía de alta resolución, resonadores magnéticos y electroencefalografía cuantitativa con mapeo cerebral, estamos comenzando a comprender el funcionamiento del órgano más complejo de nuestro cuerpo y que define nuestra identidad: el cerebro.

Las ingenierías relacionadas con la química, los alimentos, la informática, las redes de comunicación, la aeronáutica, la navegación, las redes eléctricas, los recursos hídricos, etc., todas ellas y más que aún no conocemos, enfrentan el desafío de construir un mundo mejor para todos nosotros y para las generaciones que vendrán.

El verdadero espíritu esencial de la ingeniería y del ingeniero es realmente ése: el del constructor de un mundo mejor.

Sin embargo, en nuestro país y América Latina, las carreras de ingeniería ocupan un lugar secundario dentro de la estructura del corpus socio-económico-educacional porque la tradición fundacional nuestra ha sido esencialmente aristotélica. Esencialmente académico-especulativa y de un escaso carácter innovador en la tecnología y en el hacer.

Esta escasa visión del desarrollo social ha permeado a gran parte del sistema educativo de nuestros países y la enseñanza de la ingeniería y su inclusión en las políticas de desarrollo social han sido muy pobres.

A pesar de los avances increíbles de la tecnología durante los últimos treinta años, la enseñanza de la ingeniería en nuestro país, no se ha modificado prácticamente en casi cincuenta o sesenta años. Los modelos pedagógicos siguen arraigados a clases más expositivas de tiza y pizarrón, que basadas en el desarrollo de competencias centradas en la innovación y el trabajo en equipo.

Las aulas siguen sosteniendo la estructura “capilla” con el docente al frente y los alumnos en filas de bancos. Los laboratorios ocupan un lugar periférico dentro de las estructuras edilicias y no son el pilar central de ellas como debiera ser.

El contenido curricular además de desactualizado otorga un peso excesivo a temas y herramientas físico-matemáticas en comparación con la formación en lo proyectual, la innovación y la creatividad que son los motores esenciales de la ingeniería.

Éstas a su vez no son solamente distorsiones de enfoque sino que promueven la deserción y falta de atracción de los estudiantes por la ingeniería, así como también carencia de innovaciones tecnológicas originadas en nuestra región A tal punto llega esta “distorsión conceptual de la ingeniería” que muchos creen aún que para ser un “buen ingeniero hay que saber mucha matemática y física”. Una estupidez que no resiste el menor análisis cuando observamos un poco la vida de los grandes tecnólogos del siglo pasado y el nuestro. Ingeniería es proyecto, es innovación, es solución de problemas de raigambre social, etc. Proyectos que tal vez utilizarán en algunos de sus trayectos herramientas físico-matemáticas.

Pero ingeniería es sin lugar a dudas equivalente a proyecto. La palabra clave de la ingeniería es PROYECTO. Y paradojalmente estos temas los ven los alumnos al final de su carrera y no desde el inicio como debiera ser.

A las altas tasas de desgranamiento estudiantil en los primeros años de la ingeniería se suma un gran retardo de nuestros alumnos en recibir sus títulos de ingenieros los que los convierte poco competitivos en un mercado laboral en el que a la edad que ellos egresan otros estudiantes del mundo ya completaron sus estudios de maestría y tal vez de doctorado también.

Pero tal vez, la peor de todas las cosas es la metodología odiosa, aburrida, exigente en contenidos que nunca serán utilizados durante la práctica de la carrera de la ingeniería y la agobiante carencia de estímulos y contenidos relacionados con la innovación tecnológica, la metodología proyectual, el emprendedorismo estudiantil y las vivencias de trabajo en equipo para el diseño y la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo de productos viables que den solución a problemas y demandas de la vida real.

Las carreras de ingeniería en nuestro país y región han perdido la mística y el objetivo raigal de “construir un mundo mejor” y han convertido el tránsito de los jóvenes e idealistas estudiantes en una especie de “estaciones de calvario

académico” en el que sobrevive muchas veces no el mejor sino aquel que tuvo la rudeza de soportar las estupideces y brutalidad de un sistema obsoleto, carente de creatividad, de incentivar sueños y de atender además al crecimiento del ser humano que hay en cada uno de nosotros, más allá del rótulo “estudiante”, “docente” o “no docente”.

Programa De Educación Para La Ingeniería Del Siglo XXI

La Universidad Tecnológica Nacional es una de las instituciones más importantes del país en la formación de ingenieros y cuenta con una presencia territorial que se extiende a lo largo y ancho de la República Argentina.

Sin embargo, desde hace ya varias décadas que esta prestigiosa institución presenta un importante nivel de desactualización tanto desde el punto de vista de sus programas de estudio como desde los aspectos pedagógicos que sustentan a la mayor parte de las carreras.

El PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA LA INGENIERÍA DEL SIGLO XXI que aquí presentamos pretende abordar de manera sistemática esta situación y propone instancias de debate, capacitación y actualización de aspectos centrales de las carreras de grado y posgrado, en base a tres ejes que atraviesan hoy a los escenarios educativos de nuestro tiempo: neurociencias, tecnología y redes de conocimiento activo.

1. NEUROCIENCIAS - Los avances de las Neurociencias, cuyos hallazgos nos permiten comprender mejor de qué manera nuestro cerebro aprende mejor y abren ante nosotros conceptos esenciales como neuroplasticidad, neurogénesis, emocionalidad, empatía y redes neurales. Conceptos que dan lugar a una nueva pedagogía que la mayor parte de nuestros docentes no conoce aún porque el sistema educativo de la República Argentina está anquilosado en viejas teorías pedagógicas de hace al menos dos siglos.
2. TECNOLOGÍA - La irrupción de la Tecnología en todos los escenarios áulicos y laborales en los que se desempeñan nuestros docentes y alumnos y que obliga a

un serio replanteo del aula que hasta hoy conocemos y exige al docente asumir un rol distinto al que hasta hoy viene realizando. La Tecnología hoy permite acceder y transmitir contenidos y conocimientos de manera mucho más eficaz que la que realizaba un docente tradicional y en siglo pasado. Pero esto a su vez libera al docente de esta tarea de "bajo nivel" y le permite abordar aspectos que las máquinas no pueden realizar y tienen que ver con la elaboración de grandes síntesis, el trabajo sobre competencias de sociabilización y producción del conocimiento, etc. El docente deberá dejar de parecerse a Google-Wikipedia y se tendrá que transformar en un "Maestro Da Vinci" para cada uno de sus alumnos. El trabajo de entorno áulico basado en la experiencia grupal, el rol de la emocionalidad y la afectividad y la búsqueda de propósitos, son algunos de los temas que se desarrollan a partir de este núcleo conceptual.

3. REDES DE CONOCIMIENTO ACTIVO - Las Redes Asociativas dedicadas a la elaboración del conocimiento, la producción y el desarrollo de equipos de trabajo transdisciplinario e internacionalizados, son uno de los desafíos más grandes que enfrentan los egresados de carreras tecnológicas del Siglo XXI. El concepto de "embeddesness" como competencia esencial en el mundo laboral de la actualidad está lejos de ser enseñado o abordado en nuestras instituciones y por este motivo nuestro programa trabaja sobre este núcleo de actividad central.

Objetivos del Programa

Los objetivos principales de este programa son:

1. Diseñar y realizar acciones que permitan acceder y conocer nuevos paradigmas de la ingeniería en los sistemas educativos más importantes y avanzados del mundo.
2. Diseñar instrumentos de evaluación que aborden problemáticas centrales que en la actualidad afecta el sistema educativo UTN. Entre ellos el desgranamiento

durante el primer ciclo de las carreras; el envejecimiento estudiantil (gran cantidad de años en recibirse) que torna a nuestros egresados poco competitivos en el mercado global; los modelos pedagógicos anticuados que utilizamos en la mayor parte de nuestras aulas; la desactualización de contenidos; la carencia de articulación entre las áreas de investigación y las carreras de grado; la carencia de articulación entre las áreas de posgrado y las carreras de grado, etc.

3. Establecer encuentros de debate, trabajo y concientización de la problemática del estado actual de la enseñanza de la ingeniería en la UTN y en el contexto de nuestro país en análisis comparativo con el ámbito internacional.
4. Diseñar y establecer instancias de formación y actualización de los docentes que conforman el plantel de profesores de las distintas regionales de la UTN involucradas en este programa.

Actividades centrales del Programa

EL PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA LA INGENIERÍA DEL SIGLO XXI está integrado en un portfolio de proyectos que pretenden cumplir con los objetivos señalados en el punto anterior desde una perspectiva esencialmente sistémica, operativa y de alcance global.

Para lograr esto se han generado clusters de proyectos que se desarrollan en las siguientes líneas de acción:

a. Análisis y vinculación de cooperación internacional con universidades de distintos lugares del mundo. Esta línea de acción se desarrollará inicialmente con países como Nueva Zelanda que cuenta con modelos educativos rankeados entre los más altos e importantes del mundo. Y universidades y centros politécnicos como Otago que son ejemplos en sus modelos de enseñanza. Y como España, cuyas universidades de ingeniería ocupan un lugar destacado en Europa y han tenido que actualizarse y reinventarse a través de estrategias que les han dado

resultados exitosos como es el caso de la Universidad de Zaragoza.

b. Diseño, desarrollo y procesamiento de instrumentos de evaluación para el diagnóstico de situación UTN.

Esta línea de acción propone el desarrollo de instrumentos de evaluación dedicados al diagnóstico y detección de causas raíces que afectan al estado actual la UTN en relación con diversas problemáticas: el desgranamiento durante el primer ciclo de las carreras; el envejecimiento estudiantil (gran cantidad de años en recibirse) que torna a nuestros egresados poco competitivos en el mercado global; los modelos pedagógicos anticuados que utilizamos en la mayor parte de nuestras aulas; la desactualización de contenidos; la carencia de articulación entre las áreas de investigación y las carreras de grado; la carencia de articulación entre las áreas de posgrado y las carreras de grado, etc.

El procesamiento de estos instrumentos nos permitirá responder a preguntas que son claves para establecer planes de mejoras estructurales y funcionales de nuestra universidad, como:

- ¿Cuáles son las divergencias más importantes de nuestro sistema de estudio frente a la internacionalización creciente de las carreras de ingeniería en todo el mundo?
- ¿Por qué tenemos tanto desgranamiento de alumnos en los primeros años de ingeniería y qué hacemos para resolver este problema?
- ¿Por qué nuestros alumnos demoran más de ocho o diez años en recibirse cuando en universidades extranjeras en este tiempo los jóvenes de su misma edad ya han realizado al menos una carrera de maestría y en la mayor parte de los casos un doctorado?
- ¿Por qué a pesar del enorme cambio tecnológico que vemos a nuestro alrededor, seguimos con modelos áulicos “tipo capilla” que fueron en los que nos formamos nosotros hace varias décadas atrás y a su vez los que usaron nuestros padres y abuelos también?

c. Acciones de debate y concientización de la problemática actual en relación a la necesidad de actualizar los modelos de la enseñanza de la ingeniería a las demandas del Siglo XXI

   Esta línea de acción implica el diseño, la organización y la implementación de dispositivos de difusión, concientización y trabajo sobre la problemática de la desactualización que padecen nuestros sistemas educativos relacionados con la enseñanza de la ingeniería.

   Para tal fin se generarán una serie de actividades y proyectos que podrán ir desde la realización de seminarios, workshops de trabajo específico, conferencias de profesionales destacados del medio y del extranjero, encuentros regionales que tipifiquen situaciones homólogas por región, desarrollo de sitios web dedicados, mesas de trabajo de alcance local, nacional e internacional, etc.

d. Desarrollo de Dispositivos de Capacitación basados en los núcleos centrales del Programa.

   EL PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA LA INGENIERÍA DEL SIGLO XXI pone un énfasis especial en estrategias de formación de formadores y, en la capacitación docente en los tres aspectos convergentes que adoptan la mayor parte de los sistemas educativos exitosos del mundo: neurociencia educacional, tecnología y redes de conocimiento.

Conclusiones

La enseñanza de la ingeniería al igual que el resto de los modelos educativos de gran parte del mundo y en especial de América Latina y España, han estado anclados en modelos pedagógicos en los que la innovación y la creatividad rara vez formaban parte de su currícula.

Los sistemas educativos de habla hispana en muchos casos son ilusos y están convencidos que con la incorporación de tecnología en el aula, la Educación mejorará y se adecuara a las exigencias del Siglo XXI.

“La creatividad, la innovación y el proyecto son los motores centrales de la ingeniería. La matemática y la física, son herramientas muy útiles, porque no decir fundamentales, para su desarrollo, pero confundir el motor con las herramientas es la gran tragedia de la ingeniería actual”.

Los modelos pedagógicos del Siglo XXI estarán cada vez menos centrados en la transmisión de conocimiento, ya que esta tarea la realizará la tecnología cada vez mejor. Los modelos de aula adaptativa, aula invertida, aprendizaje cognitivo, expansión peer-to peer, PBL (Project Based Learning) y afectividad basada en la empatía, son algunos de los que se trabajarán en el Programa propuesto.

Referencias

Anna Lucia Campos, (2010) “Neuroeducación: uniendo las neurociencias y la educación en la búsqueda del desarrollo humano”, La educación, revista digital de la OEA, N°143

Armstrong, Thomas (2006), “The Best Schools: How Human Development Research Should Inform”, Educational Practice. Estados Unidos. ASCD.

Benarós S, Lipina S, Segretin M, Hermida J, Colombo J (2010), “Neurociencia y educación: hacia la construcción de puentes interactivos”, Rev. Neurol, 50 (3): 179-186, www.neurologia.com.

Blakemore S, Frith U, (2007), ”Cómo aprende el cerebro. Las claves para la educación”, actualidadeducativa.es.

Howard - Jones (2011), “Investigación neuroeducativa: neurociencia, educación y cerebro: de los contextos a la práctica” La Muralla editorial

Salazar, S, (2005), ”El aporte de la neurociencia para la formación docente” Sistema de Información Científica, Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, Volumen 5, Número 1.

Sousa D, (2014) “Neurociencia educativa: Mente, cerebro y educación” Ediciones Narcea

The Royal Society, (2011) “Neuroscience: implications for education and lifelong learning”. Science Policy Center.

Z. Sosic-Vasic, M. Spitzer (2016) “Trends in Neuroscience and Education”, El Servier Journal. Vol. 1. ISSN: 2211-9493.

* * *

3

Sustentabilidad del Recurso Hídrico Una Cátedra Convocante

Víctor Hugo Burgos, Clarisa Fabiana Israel

Resumen: En vistas de los grandes desafíos que enfrenta la enseñanza de la ingeniería civil en Argentina sumado a las problemáticas hídricas que enfrenta la sociedad en su conjunto, y con el propósito de mejorar el aprendizaje significativo de los estudiantes y el desarrollo de competencias específicas y genéricas, se ha implementado en la asignatura electiva "Sustentabilidad del recurso hídrico" anteriormente denominada "Uso del Recurso Hídrico" de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN FRM) una propuesta pedagógica innovadora regionalmente y enmarcada en una actualización permanente de contenidos. Luego de una revisión de discusiones conceptuales que tratan de internalizar en la enseñanza superior los cambios necesarios para dar soluciones requeridas por una sociedad identificada como de la información, del conocimiento y en red; se exponen y discuten los primeros resultados de la evaluación de la efectividad de algunas prácticas pedagógicas implementadas desde el año 2015. Se resumen algunas metodologías didácticas aplicadas para el trabajo colaborativo en clase, incluyendo la teoría de juegos y las dinámicas grupales. Tanto los contenidos de la cátedra como la metodología aplicada en el dictado de clases han logrado captar un creciente interés en los estudiantes. Temáticas de actualidad, abordaje interdisciplinario de los contenidos, profesionales invitados de otras áreas de conocimiento, participación activa de los alumnos, trabajo en equipo para la preparación de exposiciones grupales, salidas a realizar visitas técnicas son algunas de las actividades que se desarrollan en la cátedra. Los resultados evidencian un aumento en los aprendizajes de los estudiantes y en su motivación por el curso, expresados tanto por encuestas anónimas como por el número de inscriptos y aprobados.

Palabras claves: Trabajo colaborativo – Transversalidad – Interdisciplinariedad

Introducción

El contenido curricular de la carrera de ingeniería civil incluye varios aspectos sobre los recursos hídricos con un enfoque técnico por excelencia. Su énfasis se basa en hacer proyectos de factibilidad (técnica y económica) en el campo de la ingeniería hidráulica o hidrológica. La formación profesional apunta a la dirección, inspección, diseño, construcción, operación y mantenimiento de obras relacionadas con producción hidroeléctrica, riego, drenaje, cañerías, bombeo, desagüe y otras obras civiles relacionadas con la captación y manejo del agua.

Sin embargo, según Restrepo (2011), la ingeniería tradicional del agua no está dando una respuesta real a los problemas de la sociedad, especialmente de los grupos más vulnerables; por el contrario, en algunos casos es una barrera que atenta contra la seguridad alimentaria de estos grupos y contra la vida de los ecosistemas. Asimismo, la introducción de los conceptos ambientales en la gestión del agua implica un cambio profundo en la formación en ingeniería, para dar paso a una profesión centrada en las personas y su ambiente, en el cual la tecnología es producto de un proceso participativo que busca la sostenibilidad de los ecosistemas y proyectos y el mejoramiento de la calidad de vida de los grupos más vulnerables.

El papel de la educación superior es fundamental ya que la mayoría de los programas de formación en ingeniería del agua deben ser asumidos con una visón más integral, menos sectorizados, mucho más interdisciplinarios, atendiendo el desafío de asegurar y procurar una participación ciudadana que los empodere hacia la toma de decisiones sobre el diseño, gestión y mejora de obras hídricas.

La discusión sobre las tradicionales técnicas de enseñanza se evidencia desde hace muchos años (MacGregor, 1990, Millis y Cotell, 1998). Según Durkheim (1976) el individuo explora su ser más social desde las enseñanzas que va recibiendo y define a la educación como el “constituir ese ser en cada uno de nosotros”. La educación forma uno de los pilares de la

socialización metódica, y para aquel psicólogo la socialización es un proceso de cambio o adecuación permanente.

El docente es un agente socializador y debe promover cambios pedagógicos y metodológicos para allanar el camino para que los estudiantes estén a la vanguardia de los avances científicos, tecnológicos, culturales y productivos y donde sean ellos promotores del desarrollo, creadores de sus propias ideas con las cuales puedan generar recursos propios o solucionar problemas de la comunidad.

Metodología y Elementos pedagógicos

Según Ginés Mora (2004), los métodos de enseñanza pueden clasificarse en dos tipos: reactivos y proactivos. En los primeros, el profesor actúa y el alumno responde; en los segundos es el alumno el que actúa, mientras que el profesor es ante todo un guía. Los primeros (clases teóricas y prácticas, incluso laboratorios con prácticas dirigidas) permiten suministrar conocimientos y destrezas, pero no competencias metodológicas, sociales o participativas. Para formar en los segundos se necesitan mecanismos educativos distintos: seminarios, aprendizaje interactivo, técnicas de discusión y de presentaciones, procesos de tomas de decisiones y períodos de prácticas en empresas.

Como complemento a esta didáctica integradora y proactiva se hace necesaria y pertinente una educación universitaria abierta a la noción de la complejidad de las problemáticas multidimensionales como las ecológicas, económicas y políticas locales y globales, ya que estas no pueden ser estudiadas desde programas especializados y aislados (Oliva Figueroa, 2008), si no por el contrario exigen enfoques científicos transdisciplinarios orientados al fomento de tres tipos de enlaces: el diálogo entre los diversos saberes en el campo de la ciencias, el diálogo entre las distintas lógicas de acción y el diálogo entre la ciencia y la sociedad (Espina 2007, citado por Bolaños Alfaro, 2018).

Se debe implementar un entorno de aprendizaje continuo alrededor de los estudiantes, que les capacite para seguir

aprendiendo a lo largo de la vida, y que les permita permanecer receptivos a los cambios conceptuales, científicos y tecnológicos que vayan apareciendo durante su toda actividad laboral (Ginés Mora, op. cit.). Se debe pasar de un modelo pedagógico basado en la transmisión y acumulación de conocimientos a otro fundamentado en una actitud permanente y activa de aprendizaje (López Noguero, 2005), en el que el alumno se convierta en el agente activo en la construcción de conocimiento y el docente en un guía del proceso, facilitador del aprendizaje no solo capacitado en lo académico si no en los recursos del proceso de enseñanza.

Otro concepto que ha ganado espacio con el correr de los últimos años es el de "aula invertida". Según Griffiths (2016) se trata de un modelo didáctico pedagógico que entrega a los estudiantes los contenidos específicos de un curso a través de lecciones previamente grabadas en audio o video para que los conozcan y comprendan fuera del aula, de manera que el tiempo en aula se utilice para realizar actividades colaborativas en las que se promueva la aplicación práctica del conocimiento y el desarrollo de actitudes y valores.

La Cátedra:

Sustentabilidad del Recurso Hídrico, anteriormente denominada Uso del Recurso Hídrico, es una asignatura que en principio fue troncal y luego electiva, pertenece a la carrera de Ingeniería Civil - Facultad Regional Mendoza – Universidad Tecnológica Nacional y se dicta desde el año 2004. Desde 2016 se puede promocionar. El creciente interés del alumnado queda de manifiesto en el aumento de matriculados en los últimos años.

Tabla 2. Cantidad de alumnos (últimos 10 años)

Año	I	R	P(*)	LI	AE	N(**)
2009	8	8	0		9	8.44
2010	12	10	0	2	4	9.25
2011	18	16	0	2	17	9.35

2012	16	15	0	1	11	9.36
2013	17	15	0	2	17	9.29
2014	16	13	0	3	3	8.66
2015	11	10	0	1	12	8.66
2016	17	5	9	3	18	8.44
2017	24	0	22	2	23	8.00
2018	59	2	47	10	47	8.08
Total	198	94	78	26	161	M=8.56

*Cantidad de alumnos: I: Inscriptos, R: Regulares, P: Promocionados, LI: Libres por inasistencia o no regulares; AE: Alumnos examinados; N: Nota final promedio; M: Media de promedios; * Hasta el año 2015 no se promocionaba, ** Incluye mesas examinadoras con alumnos de años anteriores.*

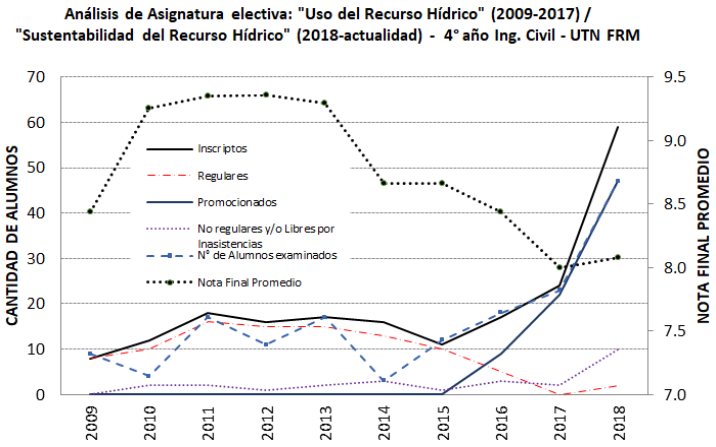


Figura 1: XXXX

Desarrollo

Debido a la cantidad de alumnos inscriptos este año se asignó para la cátedra una de las aulas más amplias del departamento de Ingeniería Civil que es la de informática. La misma cuenta con una computadora cada 2 alumnos. Esto

significó grandes beneficios ya que ha facilitado a los estudiantes el acceso a internet y con ello la posibilidad de seguir la clase ingresando al aula virtual donde cuentan con el material completo usado en la cátedra, realizar actividades tales como afinar búsquedas sobre alguna temática en particular, evaluar y cotejar la información de distintos sitios y fuentes, buscar novedades sobre temas que se están tratando en clase y temas de actualidad, etc.

Se aprecia que la asignatura ha despertado interés tanto por la temática y los contenidos como por la metodología de dictado de la misma.

Se tocan contenidos tales como perspectiva de género y de manera permanente se agregan temáticas de actualidad (como fracking este año), intentando que el alumno amplíe su perspectiva, haciendo un abordaje interdisciplinario en el que no sólo se consideren los aspectos técnicos sino también el entorno y los intereses sociales, políticos y económicos que rodean a las problemáticas planteadas. Se entiende a la interdisciplina como una forma de organización de los conocimientos, haciendo énfasis: en lo que está entre las disciplinas; en lo que las atraviesa a todas, y en lo que está más allá de ellas. Esto surge de la necesidad de que los conocimientos científicos se nutran y aporten una mirada global que no se reduzca a las disciplinas ni a sus campos, que vaya en la dirección de considerar el mundo en su unidad diversa.

El dictado de las clases se realiza de manera participativa de manera que los alumnos se involucren activamente en las mismas, planteando dudas y aportando sus opiniones respaldadas por argumentos o experiencias. Se implementaron dinámicas grupales consistentes en juegos de roles y teoría de juegos, debatiendo casos de asignación de recursos hídricos.

Una de las actividades incluidas en los últimos ciclos lectivos, fue invitar a especialistas de diferentes disciplinas a dar charlas de una hora. Se incluyeron temas relativos al relevamiento y clasificación de glaciares dictado por una

geógrafa y glacióloga; temas referidos a servicios ecosistémicos y métodos de valoración económica del agua, dictado por un economista y finalmente un comunicador social, quien expuso temas sobre sociología del agua y articulación de saberes. Luego de cada exposición se abrieron rondas de preguntas donde tuvo lugar la participación de los alumnos.

Los alumnos conforman equipos con el fin de preparar presentaciones sobre temas aportados por la cátedra. En las presentaciones multimedia que realizan los alumnos se hace una devolución acerca de diversos aspectos tanto respecto al contenido como a la presentación. En este último caso se hace hincapié en temas tales como cantidad de texto necesaria, tamaño y tipo de letra, contraste de colores, estética, expresión oral y escrita y también temas actitudinales como oratoria, postura, gestos, tono de voz, etc.

Se hicieron visitas técnicas a la Central Térmica Luján y al Embalse El Carrizal y Dique Tiburcio Benegas.

La evaluación global fue desarrollada en la plataforma del aula virtual con 10 preguntas al azar de un banco de preguntas desarrollado a tal fin.

Casi la totalidad de los alumnos promocionaron siendo el promedio de las notas obtenidas de 8,08/10.

Conclusión

El trabajo colaborativo se consolida cada vez más como una estrategia didáctica válida y pertinente, en la enseñanza/aprendizaje de la educación superior (Revelo-Sánchez et al., 2018).

La aplicación de diversas metodologías debe ser flexible, adaptable a cada grupo y circunstancia social.

Los problemas vinculados al recurso hídrico que enfrenta la sociedad, deben ser resueltos por la ingeniería civil en común esfuerzo con otras disciplinas e interactuando con la comunidad, por lo que si no se incorporan estrategias colaborativas, interdisciplinares y sociales con nuestros

estudiantes, no tendrán estas capacidades requeridas por la sociedad.

Se evidencian avances en línea con los objetivos estratégicos propuestos quedando para próximos ciclos lectivos la incorporación de más técnicas y dinámicas, junto con la preparación de material de cátedra en formatos convencionales y multimediales.

Referencias

Bolaños Alfaro, J. D., 2018. "Gestor Integral del Recurso Hídrico, un experto necesario ante la vulnerabilidad socio-natural" en Rev. InterSedes, N° 38. Vol. 18 (2017). ISSN 2215-2458. Costa Rica.

Comellas, E., & Buccheri, M., 2016. Racionalidad, Incentivos, Conflictos y Juegos: Nuevas áreas de la Economía aplicadas a la GIRH.

CONFEDI, 2010. La Formación del Ingeniero para el desarrollo sostenible. Congreso Mundial de Ingeniería 2010. Consejo Federal de Decanos de Ingeniería. Buenos Aires.

Durkheim, E., 1976. Educación como socialización (Vol. 2). Ediciones Sígueme.

Ginés Mora, J., 2004. La necesidad del cambio educativo para la sociedad del conocimiento. En Revista Iberoamericana de Educación, 35, pp. 13-37

Griffiths, L., Villarroel, R., & Ibacache, D., 2016. Implementación del modelo de aula invertida para el aprendizaje activo de la programación en ingeniería. En XXIX Congreso Chileno de Educación en Ingeniería SOCHEDI.

MacGregor, J., 1990. Collaborative learning: Shared inquiry as a process of reform. En M. D. Svinicki (Ed.), The changing face of college teaching (págs. 19-30). New Directions for Teaching and Learning, No. 42. San Francisco: Jossey-Bass.

Millis, B. J., y Cottell, P., 1998. Cooperative learning for higher education faculty. American Council on Education, Series on Higher Education. Phoenix, AZ: Oryx Press, pp. 72-78, 115-116.

López Noguero, F., 2005. Metodología participativa en la enseñanza universitaria (Vol. 9). Narcea Ediciones.

Oliva Figueroa, I., 2008. Conocimiento, universidad y complejidad: bosquejos epistémicos y metodológicos para una vinculación

transdisciplinaria. Estudios pedagógicos. Valdivia, Chile. 34(2): 227-243.

Restrepo, I., 2011. Tendencias mundiales en la gestión de recursos hídricos: desafíos para la ingeniería del agua. Revista Ingeniería y Competitividad. 6 (1), 63-71.

Revelo-Sánchez, O, Collazos-Ordoñez, C. y Jiménez-Toledo J., 2018. El trabajo colaborativo como estrategia didáctica para la enseñanza/aprendizaje de la programación: una revisión sistemática de literatura. TecnoLógicas, vol. 21, no. 41, pp. 115-134.

* * *

4

Uso del Aula Virtual: Análisis de un Modelo Orientado a Objetos

Julio Monetti, Mariana Brachetta, Oscar A. León,

Bianca E. Sozzi, Mercedes Muñoz Patiño

Resumen: En el artículo se presenta una propuesta elaborada por auxiliares alumnos de la cátedra Paradigmas de Programación, del cuarto semestre de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información. El propósito de la experiencia fue contar con material elaborado por estudiantes que hubieran cursado recientemente la asignatura, y que aportaran su punto de vista respecto de aquellos aspectos que les resultaban más significativos para el estudio del modelo orientado a objetos. El material se implementó en el aula virtual de la asignatura. En el artículo se describe el marco general de la propuesta, las categorías en la que se organizaron las cuestiones planteadas y los objetivos buscados en cada caso. Finalmente se comentan algunas conclusiones.

Palabras claves: eLearning, modelos, programación, objetos

El plan de estudios de la carrera plantea como contenidos mínimos, el estudio de conceptos básicos del modelo de objetos, clasificación de clase y objeto, métodos y mensajes, clases abstractas y concretas, relaciones de herencia. El abordaje de los contenidos implica el desarrollo de clases en aula y prácticas en laboratorios de computación, además de la resolución de tareas y actividades denominadas de autoevaluación, las cuales consisten en responder un conjunto de cuestionarios, implementadas en la plataforma Moodle (Basulto, et al, 2014). La actividad fue elaborada para ser resuelta como instancia final del estudio del modelo de programación orientada objetos, luego de haber completado dos etapas previas, resolviendo cuestiones relativas a conceptos generales, programación Java y las distintas formas de relaciones de asociación y herencia, que se estudian durante el cursado. Para este fin se utilizó una de las herramientas de “juegos” que provee la plataforma.

Elementos del Trabajo y metodología

La idea del modelo a implementar se adaptó a partir de un una propuesta realizada en la asignatura integradora “Diseño de Sistemas”, correspondiente a tercer año de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información.

Para resolver la actividad, los estudiantes deben analizar las características y forma de implementación en el lenguaje de programación Java (Schildt, 2012) (Ceballos, 2010), de un modelo de objetos representado en UML (Jacobson, I. et al, 1990) (Jacobson, 1992) (Figura 1) que gestiona un estacionamiento de los autos.

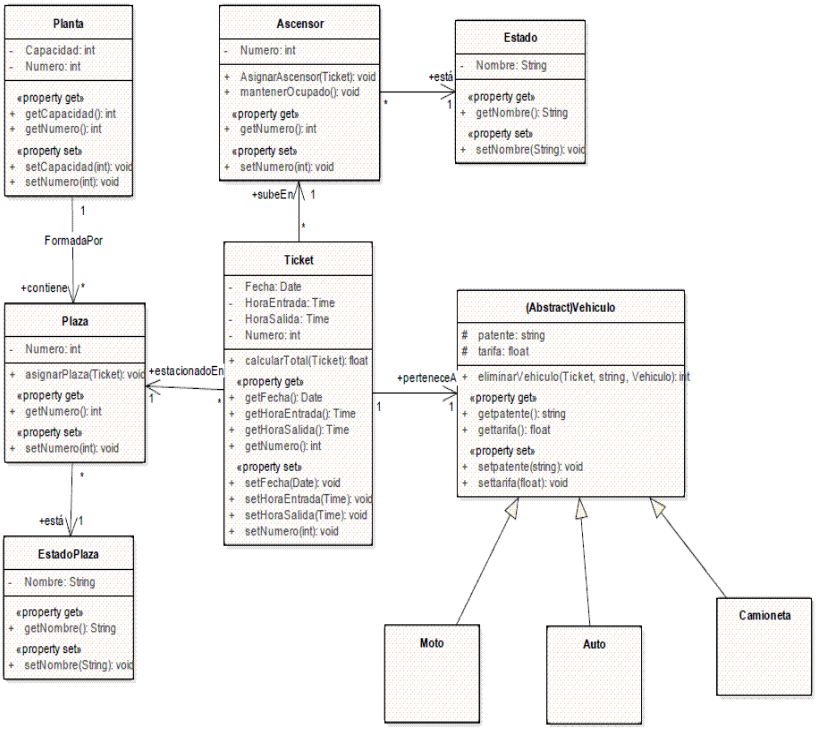


Figura 1. Sistema de Estacionamiento

Se trata de un estacionamiento “automático” formado por una determinada cantidad de plantas y plazas (cocheras) para estacionamiento. Para facilitar la programación del caso propuesto se utilizaron valores simulados. El esquema del estacionamiento supone un edificio de varias plantas, donde cada una tiene una capacidad máxima de plazas y se debe poder determinar el estado de las mismas, es decir, si están libres u ocupadas, llevando un registro de los autos que se encuentran estacionados en cada momento. El estacionamiento cuenta con un grupo de ascensores que se encargan de trasladar los autos para estacionarlos y/o retirarlos del lugar, donde un ascensor puede estar en uno de tres estados: “libre”, “ocupado”, “en mantenimiento”.

Características y forma de operación del modelo

- Proceso de Ingreso de un Vehículo

Al ingresar un nuevo vehículo se debe seleccionar el tipo de vehículo del que se trata, ya sea, auto, moto o camioneta; y luego ingresar el número de patente. La fecha y hora de entrada las cargará el sistema automáticamente. Al finalizar, se mostrará el número de ascensor que deberá utilizar y se imprime en pantalla el ticket con la información correspondiente.

- Proceso de Salida de un Vehículo

Al retirar un vehículo se debe ingresar el tipo de vehículo, y la patente correspondiente. Si los datos ingresados son válidos, se mostrará en pantalla la patente ingresada a modo de confirmar la selección. En caso de algún error se informará dicha situación a través de un mensaje de error. Al finalizar se informará el total a pagar y se imprimirá un ticket con toda su información correspondiente.

Estructura del cuestionario elaborado

El desarrollo del programa, al que se refiere la lista de preguntas elaboradas, se propuso con el fin de que los estudiantes tuvieran una comprensión, más cercana a la realidad, de la programación en Java. Motivó este enfoque el

que, a partir de la experiencia propia, el estudio teórico y el acercamiento al tema través de ejemplos aislados, no resulta suficiente para comprender el paradigma en estudio. A continuación, se detallan las categorías en las que se dividieron las preguntas y lo qué se pretendía evaluar con cada una de ellas.

- Modificadores de acceso

Una de las características del modelo de objetos y por lo tanto que implementa lenguaje Java, es la posibilidad de encapsular los datos, lo que significa, que algunos de ellos pueden estar ocultos para uno o más objetos del sistema. Esta funcionalidad se logra a través de los modificadores de acceso y calificadores de almacenamiento*;* cuyo objetivo es que los estudiantes sean capaces de identificarlos y discernir cuáles usar según sea el caso. En la actividad se formulan preguntas acerca del uso de calificadores ante mencionados

- Utilización de métodos

Como se sabe desde el punto de vista teórico cada clase está formada por atributos, que definen su estado, y métodos, que definen su comportamiento o funcionalidad. La correcta comprensión, utilización e implementación es importante para que el desarrollo de un sistema sea eficaz.

En la categoría se formulan preguntas acerca de la llamada, redefinición de métodos, sobrecarga y funcionalidad de algunos de ellos.

- Comprensión del funcionamiento global del sistema

Podría considerarse que esta categoría encapsula e integra todos los conceptos del lenguaje. Las preguntas fueron orientadas a que cada alumno pudiera comprender la sintaxis y semántica del lenguaje, y a partir de ello, ser capaz de deducir el comportamiento de diferentes porciones de código y del programa en general. Este abordaje se debió a que desarrollar la capacidad de comprender código ajeno es importante dada la posibilidad de tener que mantener un

sistema existente desarrollado completamente por otra persona o equipo de trabajo.

En la categoría se formulan preguntas acerca del funcionamiento de ciertas porciones de código, el funcionamiento de variables, la creación de nuevas instancias y asignación de valores a las variables en tiempo de ejecución, cómo se comportan los datos en el sistema.

- Decisiones de modelado del sistema

Una de las tareas difíciles en el desarrollo de un sistema es lograr abstracciones correctas y completas de elementos de la realidad. Modelar un sistema requiere tiempo y una comprensión clara de los conceptos del Paradigma Orientado a Objetos; tales como, clases y objetos, relaciones de herencia, asociación, instanciación y uso, encapsulamiento, polimorfismo, reutilización de código, tolerancia a fallos (manejo de errores y jerarquía de excepciones), etc. El objetivo de esta sección está orientado a que el alumno aplique los conceptos teóricos aprendidos para entender las decisiones de implementación tomadas.

En esta categoría se formulan preguntas acerca del tratamiento de los datos sin una base de datos, dado que este último tema los estudiantes recién lo abordan en el tercer año de la carrera. Además se plantea el por qué se decidió crear determinadas variables, bajo qué criterios una clase debe definirse como abstracta, cómo debe tratarse la herencia y la incorporación de nuevos elementos derivados (subclases).

- Otros aspectos

En el modelo se trabajó con GUIs (Interfaz Gráfica de Usuario) de Java y se utilizó una Base de Datos “simulada” a través de recursos del lenguaje (Por ejemplo: a través de un ArrayList) para no exceder los límites del contenido de la cátedra; dado que las sentencias de consulta y el manejo de una Base de Datos se trata en materias de cursos posteriores.

Resultados

La propuesta se implementó con la herramienta de juegos que provee la plataforma Moodle. Los estudiantes debían

descargar del espacio virtual el material relativo al modelo elaborado y responder las preguntas propuestas. Posteriormente se compararon los resultados alcanzados en esta actividad por los estudiantes, con el nivel alcanzado en la evaluación parcial, en el mismo tema, pero obviamente sobre otro modelo y conjunto de preguntas. La comparación se hizo agrupando las calificaciones en tres categorías principales como se muestra en la Tabla 1, donde en las columnas Juego y Evaluación se muestra la cantidad de alumnos que obtuvieron determinada calificación, en cada caso. Se observa que la mayor cantidad de coincidencias en los resultados es en el nivel Medio.

Nivel	Calificación	Juego	Evaluación
Alto	10	0	0
	9	0	0
	8	0	9
Subtotal		**0**	**9**
Medio	7	6	12
	6	28	21
	5	17	24
Subtotal		**51**	**57**
Bajo	4	25	0
	3	4	14
	2	0	0
Subtotal		**29**	**14**

Tabla 1: Comparación de resultados

Las cuestiones se dividieron en cuatro grupos, cada uno con un objetivo diferente para evaluar la capacidad del alumno:

1. Modificadores de acceso: Identificar modificadores de acceso y poder discernir cuál usar según sea el caso.
2. Utilización de Métodos: Discernir cómo funcionan y se utilizan los métodos.
3. Funcionamiento global del sistema: Comprender el código y el funcionamiento global del sistema.
4. Decisiones de modelado del sistema: Aplicar conceptos teóricos aprendidos para entender las decisiones de implementación tomadas. Comprender el diagrama de clases y realizar una implementación correcta.

La actividad de juego tomó en forma aleatoria las preguntas a partir de ellos.

Conclusiones

Se observan sesgos en algunos de los resultados de la Tabla 1. Por ejemplo en "Alto", nadie alcanzó dicho nivel en el Juego, pero sí en la Evaluación. Esto se estima puede estar motivado por una característica del Juego utilizado en la experiencia, la cual es que, luego de responder incorrectamente cierta cantidad de preguntas, el mismo finaliza, aunque no se hayan contestado todas las preguntas. Entonces, es posible que algunos de los estudiantes que obtuvieron puntaje Medio, de responder todas las preguntas, hubieran alcanzado la categoría "Alto" y en forma similar, de "Bajo" a "Medio".

Sobre un total de 80 alumnos, el 82.5% de los estudiantes superaron el nivel "Bajo" en la evaluación, por lo que se estima que la experiencia ha sido positiva.

Referencias

Basulto, F. M., Avello, R., & Álvarez, H. (2014). Implementación de la asignatura Teoría y Metodología de la Educación Física en la Plataforma Moodle. Universidad y Sociedad, 6(4), 25-32. Recuperado de http://rus.ucf.edu.cu/

Ceballos, J. (2010) JAVA 2 - Curso De Programación. RA-MA

Jacobson, I. Booch, G. Rumbaugh, J. (1990) El proceso unificado de desarrollo de Software.

Jacobson, I (1992) Object-Oriented Software Engineering

Schildt, H. (2012) Java 7. Oracle Press.ANAYA

* * *

5

Inclusión de la Sostenibilidad Ambiental en las Carreras de Ingeniería Civil de la UTN Etapa Diagnóstica de Docentes

Miguel Tornello, Edgardo Ghellinaza, Miriam López, José Flores

Resumen: El problema medioambiental que hoy sufre la sociedad es el resultado de nuestras acciones donde la propia sociedad, a través de sus actores técnicos posee gran parte de la responsabilidad ambiental. Las instituciones de la educación no pueden permanecer ajenas a esta problemática, por lo tanto, debemos propender hacia una educación comprometida con la sostenibilidad. El ingeniero debe dejar de lado su papel meramente técnico para poder involucrarse en la satisfacción de las demandas de la sociedad. Tarea que sólo se logra teniendo en cuenta la sostenibilidad ambiental y económica tanto en las etapas de diseño de nuevas técnicas y tecnologías, como de operación de las mismas. Para esto es necesario partir de un diagnóstico de la situación actual frente a las exigencias impuestas por la naturaleza misma del conocimiento contemporáneo, y a partir de su análisis y evaluación, orientar y/o implementar una intervención formativa. Este trabajo expone la experiencia de revisión del diseño curricular de la carrera de Ingeniería Civil, a partir del Proyecto: Estudio y formulación de estrategias de gestión académica para la formación de ingenieros civiles para el desarrollo sustentable en la Universidad tecnológica Nacional. El proyecto tiene por objeto incluir conceptos e instrumentos que permitan comprender y apreciar el ambiente y su complejidad, entender la relación entre la actividad humana y el medio e integrar el factor ambiental en la actividad profesional de los ingenieros civiles. La etapa de diagnóstico del proyecto indica que los planes de estudio de la carrera le asignan escasos tiempos para tratar el tema situación que denota que la problemática ambiental no está instalada en las carreras de ingeniería civil.

Palabras claves: Ingeniería civil; sostenibilidad; formación ambiental; medioambiente.

1. Introducción

La temática de educación ambiental ha sido tratada en otros eventos y foros, tanto en Argentina como internacionalmente, en los cuales se han analizado los retos que se le plantean a las instituciones de educación para incorporar en los planes de estudio el compromiso y la responsabilidad ambiental. El Plan Nacional de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1993 propuso que la formación ambiental debía entenderse como "el proceso formal y no formal de capacitación académica y de formación psicosocial de profesionales de las ciencias sociales, naturales y técnicas en sus áreas básicas o aplicadas para la detección y solución de problemas del ambiente". De lo expuesto se pone en evidencia la urgente necesidad de capacitación sobre la resolución de problemas ambientales relacionados con el deterioro de la calidad de vida. El concepto de sostenibilidad incluye además del aspecto ambiental, la equidad y la justicia social como criterios y valores que también son precisos contemplar en los procesos de formación de ingenieros. Esto permitiría a los ingenieros egresados asumir mayor responsabilidad en la proyección del futuro sostenible y, por lo tanto, encontrarse capacitados para diseñar y aplicar tecnología para reducir y tratar los residuos, disminuir los impactos sobre la salud humana y los ecosistemas y promover el bienestar social de la población, entre otros aspectos.

Para ello, la universidad debe propiciar un vínculo entre la educación y el desarrollo sustentable y, de esta manera, contribuir a formar profesionales capaces de prevenir y corregir problemáticas ambientales globales. Esta responsabilidad, en defensa del medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales, ha sido tema obligado de numerosos eventos en Argentina y también internacionalmente, que de forma directa o indirecta han abordado estos aspectos. En este sentido, en el Congreso Mundial de Ingeniería de 2010, el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) dentro de los Lineamientos para la Formación de los Ingenieros Argentinos para el

Desarrollo Sostenible en el siglo XXI propone formar ingenieros con “visión sistémica”, es decir con actitud creativa y crítica que le permita detectar problemas, plantear soluciones y tomar decisiones desde una perspectiva social, económica y ambientalmente sustentable.

Asimismo, en diciembre de 2002, la Asamblea General de las Naciones Unidas, en su Resolución 57/254, proclamó el periodo comprendido entre 2005 y 2014 “Decenio de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sostenible”. Asumiendo la UNESCO la responsabilidad de constituirse en organismo rector y coordinador mundial del Decenio y ejecutor de las actividades tendientes a considerar la sustentabilidad y el desarrollo sustentable como conceptos centrales en el plano de la educación. Tarea que aún hoy, no se ha logrado cumplir. Los resultados de esta ambiciosa propuesta, no fueron satisfactorios en términos de formación para el desarrollo sustentable.

2. Marco teórico

A los fines de la evaluación del estado del conocimiento sobre el tema educación y formación ambiental, se estima conveniente enunciar la secuencia temporal de algunos de estos eventos destacando la progresiva inclusión y evolución de conceptos y discursos relativos a las acciones necesarias para detener el deterioro ambiental, eventos que, sin éxito, pretenden establecer acuerdos y trazar lineamientos de acción para avanzar en la línea del desarrollo sustentable.

Sucintamente, la cronología de los eventos mencionados es la siguiente:

- Año 1972: Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, Estocolmo Club de Roma. Publicación de "The Limits to Growth" (Los límites del crecimiento)
- Año 1976: Conferencia de la ONU sobre Asentamientos Humanos (Hábitat I)
- Año 1987: Informe Brundtland: "Our Common Future" (Nuestro Futuro Común).

- Año 1992: Conferencia de la ONU sobre Ambiente y Desarrollo (Conferencia de la Tierra de Río de Janeiro) - Agenda 21.
- Año 1993: Creación de la Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo
- Año 1996: Segunda Conferencia de la ONU sobre Asentamientos Humanos (Hábitat II) – Estambul, Turquía.
- Año 1997: Cumbre de Kyoto sobre calentamiento global
- Año 1997: Congreso Internacional UNESCO-PNUMA sobre educación y capacitación ambiental, Moscú.
- Año 1998: Cumbre de Buenos Aires sobre calentamiento global.
- Año 2002: Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (Río + 10) – Johannesburgo.
- Año 2007: 4º Congreso Internacional sobre Educación Ambiental "Tbilisi + 30". Ahmadabad, India.
- Año 2009: Cumbre de Copenhague sobre calentamiento global.

En el caso particular de la Universidad Tecnológica Nacional, en Argentina, el análisis de los antecedentes relativos a conceptos de la sustentabilidad y al desarrollo sustentable es prácticamente inexistente. A partir de diagnósticos elaborados por anteriores proyectos de investigación desarrollados por Facultades Regionales sobre formación ambiental en carreras de ingeniería civil, se ha podido corroborar que las acciones efectivamente conseguidas sólo han sido consecuencia de la voluntad de algunos docentes, con algún acompañamiento no orgánico de las áreas curriculares y de algunos departamentos de la especialidad, y con el aliento y asesoramiento de investigadores de la carrera que desarrollan proyectos de investigación sobre el tema, pero no se ha logrado aún la sistematización de dichos esfuerzos y aportes a nivel orgánico e institucional, de modo de constituir el respaldo necesario e imprescindible que dicha implementación requiere.

Proyectos de investigación desarrollados en el ámbito de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina,

centraron el análisis de las posibles formas de encarar estructural y orgánicamente, la difícil tarea de dar forma curricular a una necesidad acuciante, en el ámbito de la enseñanza de la ingeniería civil, a fin de asegurar que las competencias de los futuros profesionales incluyan los conocimientos y fundamentos éticos inherentes al ejercicio de la profesión y a la función social de la Ingeniería. El diseño curricular deberá propiciar la transmisión de saberes y la generación de competencias para el ejercicio de la ingeniería en un contexto de máxima sustentabilidad.

El presente trabajo corresponde a la etapa de diagnóstico del primer proyecto de investigación desarrollado en la línea que aborda el trabajo. Este análisis descriptivo de la situación de partida, se inició con el análisis de los resultados de encuestas dirigidas a alumnos y docentes de los diferentes años de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Mendoza, que analizaba las percepciones del alumnado y de los docentes acerca del grado de implementación de la temática ambiental en la carrera. En el presente trabajo se detalla y analiza la encuesta realizada a los docentes de la carrera de Ingeniería Civil.

3. Propósitos y descripción

En esta etapa de partida, se desarrollaron varias tareas como recopilación de antecedentes, estudio de programas analíticos de materias de la carrera, etc.

El cuestionario realizado tiene por objeto conocer la opinión del encuestado sobre el desarrollo de contenidos que debería tener un programa de formación ambiental en la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Mendoza de la UTN.

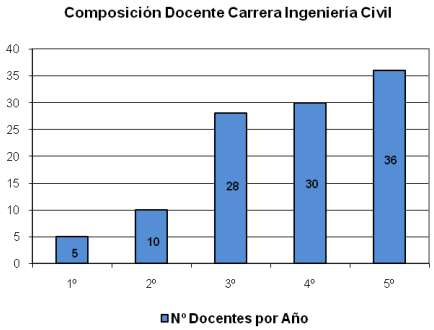
La metodología consistió en un cuestionario cerrado, con escalas valorativas, escalas de frecuencia y opciones múltiples. En este documento se incluyen los resultados del relevamiento efectuado a los docentes según el procesamiento de las encuestas.

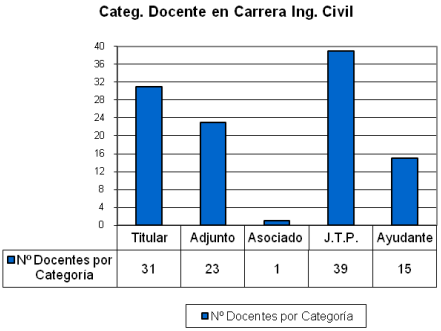
El esquema del cuestionario sobre el que se le consulta contiene los siguientes puntos:

- Cursos sobre los que imparte su asignatura
- Año de experiencia en docencia
- Categoría Académica
- Su valoración en orden a la importancia que tiene la formación ambiental
- La evaluación que hace respecto a las acciones que realiza en su cátedra

4. Composición y Categorías docentes de la Carrera de Ingeniería Civil

A continuación, se muestra en el primer cuadro la cantidad de docentes por año de carrera de Ingeniería Civil y en el segundo la composición según las categorías docentes.





5. Resultados

5.1 Primera parte del cuestionario

Consideraciones respecto a la formación ambiental. Los valores indicados corresponden a los porcentajes de cada respuesta

Pregunta Nº 1: Valoración en orden a la importancia que para usted tiene la formación ambiental

Año	Muy importante	Importante	Medianamente importante	Poco importante	Nada importante
1º	50	25	25	0	0
2º	30	60	0	10	0
3º	43	43	11	3	0
4º	20	47	23	10	0
5º	17	50	33	0	0

Pregunta Nº2: Propender a la formación general en cuestiones ambientales en la carrera de Ingeniería Civil

Año	Muy importante	Importante	Medianamente importante	Poco importante	Nada importante
1º	25	75	0	0	0
2º	60	30	0	0	10
3º	36	43	18	3	0

4º	27	43	27	3	0
5º	44	33	17	6	0

Pregunta Nº3: Desarrollar estrategias en formación ambiental incluidos en los contenidos de su asignatura

Año	Muy importante	Importante	Medianamente importante	Poco importante	Nada importante
1º	25	50	25	0	0
2º	50	20	0	20	10
3º	29	25	25	14	7
4º	7	38	31	24	0
5º	28	33	22	17	0

Pregunta Nº4: Informarse, entender mejor y tomar conciencia de la problemática ambiental de las obras civiles

Año	Muy importante	Importante	Medianamente importante	Poco importante	Nada importante
1º	100	0	0	0	0
2º	60	30	0	10	0
3º	53	29	11	7	0
4º	27	47	23	3	0
5º	33	50	17	0	0

Pregunta Nº5: Actualizarse profesionalmente para mejorar la efectividad en el desarrollo de aspectos ambientales en el dictado de su asignatura

Año	Muy importante	Importante	Medianamente importante	Poco importante	Nada importante
1º	50	50	0	0	0
2º	50	30	0	20	0
3º	39	36	7	14	4
4º	20	37	40	3	0
5º	22	33	30	6	0

Pregunta Nº6: Contrastar opiniones, enfoques y metodologías con otros/as educadores/as ambientales

Año	Muy importante	Importante	Medianamente importante	Poco importante	Nada importante
1º	75	25	0	0	0
2º	30	50	10	10	0
3º	18	50	25	7	0
4º	17	30	50	3	0
5º	6	44	44	6	0

Pregunta Nº7: Plantearse la necesidad de incorporar la perspectiva ambiental en la actividad profesional

Año	Muy importante	Importante	Medianamente importante	Poco importante	Nada importante
1º	25	75	0	0	0
2º	60	30	0	0	10
3º	50	32	18	0	0
4º	17	50	30	3	0
5º	17	50	28	7	0

Pregunta Nº8: Crear redes de colaboración y emprender iniciativas comunes en temas ambientales con docentes de otras cátedras

Año	Muy importante	Importante	Medianamente importante	Poco importante	Nada importante
1º	25	25	50	0	0
2º	30	30	30	0	10
3º	36	36	21	7	0
4º	24	28	38	7	3
5º	22	56	11	5	6

Pregunta Nº9: Saber más acerca del medio ambiente y comprender mejor todas las implicaciones asociadas a las obras civiles

Año	Muy importante	Importante	Medianamente importante	Poco importante	Nada importante
1º	75	25	0	0	0
2º	50	40	0	0	10
3º	39	46	11	4	0
4º	27	46	27	0	0
5º	16	67	17	0	0

Pregunta Nº10: Profundizar técnicamente en el conocimiento de cómo el medio ambiente afecta a la sociedad y viceversa

Año	Muy importante	Importante	Medianamente importante	Poco importante	Nada importante
1º	25	25	50	0	0
2º	50	40	0	10	0
3º	39	36	18	7	0
4º	30	50	20	0	0
5º	28	67	5	0	0

Pregunta Nº11: Orientar y concretar las medidas necesarias para incorporar la perspectiva ambiental en la currícula de ingeniería civil

Año	Muy importante	Importante	Medianamente importante	Poco importante	Nada importante
1º	100	0	0	0	0
2º	50	40	0	0	10
3º	43	43	14	0	0
4º	17	53	27	3	0
5º	33	50	11	6	0

Del análisis de las respuestas se observa el interés del docente por una educación comprometida con la sostenibilidad a partir del análisis y evaluación de la currícula, para orientar y/o implementar una intervención formativa. Como así también, la necesidad de implementar estrategias didácticas que permitan incorporar una visión ambiental más amplia e integradora en la actividad profesional.

Se manifiesta un importante compromiso del docente en formar parte de la formación ambiental desde el inicio de la carrera. Si bien se imparten conocimientos ambientales en diferentes asignaturas y en diferentes niveles, se percibe la falta de profundización en sus contenidos, donde la información suele quedar fragmentada o desarticulada en el contexto multidimensional que constituye el medio ambiente.

5.2 Segunda parte del cuestionario

Evaluación de las acciones que realiza en su cátedra. Los valores indicados corresponden a los porcentajes de cada respuesta

Pregunta Nº1: ¿Ha realizado cursos o seminarios de capacitación en la temática ambiental?

Año	SI	NO
1º	50	50
2º	70	30
3º	39	61
4º	10	90
5º	50	50

Pregunta Nº2: ¿Se desempeña como profesional en tareas relacionadas con la Gestión Ambiental?

Año	SI	NO
1º	25	75
2º	50	50
3º	35	65
4º	33	67
5º	33	67

Pregunta Nº3: ¿La planificación de la cátedra contiene temas ambientales específicos relacionados con la contaminación y las obras de ingeniería?

Año	SI	NO
1º	25	75
2º	50	50
3º	36	64
4º	33	67
5º	89	11

Pregunta Nº4: ¿Actualmente se les asigna alguna carga horaria a los contenidos ambientales durante el dictado de la cátedra?

Año	SI	NO
1º	75	25
2º	60	40
3º	32	68
4º	17	83
5º	39	61

Pregunta Nº5: ¿Evalúa a los alumnos considerando aspectos ambientales en función de la actividad que desarrollan?

Año	SI	NO
1º	50	50
2º	30	70
3º	21	79
4º	10	90
5º	33	67

Pregunta Nº6 ¿Cree oportuno incorporar temas ambientales en los contenidos de la programación de la cátedra?

Año	SI	NO
1º	100	0
2º	70	30
3º	79	21
4º	73	27
5º	89	11

Se observa un porcentaje importante de docentes en los distintos años de la carrera que no ha realizado cursos o seminarios de capacitación en la temática ambiental. Los docentes que tienen alguna actividad relacionada con el

medio ambiente son escasos, por lo que debe reforzarse la capacitación en temas ambientales, si la intención es que los docentes desarrollen aspectos ambientales en las cátedras. Se detecta un escaso contenido de temas ambientales relacionados con la contaminación y las obras de ingeniería, a pesar que en varias cátedras contienen en su planificación temas ambientales específicos. La evaluación de los alumnos en las cátedras se realiza sin ningún tipo de visión ambiental y un número importante de cátedras considera oportuno la incorporación de temas ambientales en la programación de las materias.

6. Conclusiones

La conclusión inmediata que surge de la recuperación documental y análisis del contenido curricular de las asignaturas con contenido ambiental es que se observa una importante cantidad de docentes comprometidos con la temática.

La incorporación de contenidos ambientales en carreras de ingeniería civil ayudaría sustancialmente a despertar en los estudiantes el interés por la problemática ambiental y el desarrollo sostenible con una visión objetiva desde una visión más crítica de la ingeniería civil. Para ello, es necesario convocar a docentes capacitados y con vasta experiencia en tratar temas de desarrollo sostenible y sostenibilidad de productos, procesos y servicios.

Hay una necesidad de una revisión integral del actual plan de estudios tanto en su dimensión prescrita como en su implementación y desarrollo, a la luz de una formación ambiental orientada al desarrollo sustentable.

Es fundamental la formación y el perfeccionamiento de los docentes, actores principales en la construcción de un rol profesional de alto impacto sobre la preservación del medio ambiente, como factor indispensable

Por último, se observa la necesidad de profundizar en estrategias docentes que incorporen el conocimiento sobre la problemática ambiental acordes a los avances que se

producen en las técnicas y tecnologías, asimismo poder relacionar la práctica profesional con las implicancias ambientales.

7. Referencias

- Aznar Minguet, P. y Ull Solís, M. (2009), La formación de competencias básicas para el desarrollo sostenible: el papel de la Universidad. Revista de Educación. Número extraordinario, pp. 219-237. España, ISSN 0034-8082.
- D´Amico, C. (2010). La Formación del Ingeniero para el Desarrollo Sostenible. Congreso Mundial de Ingeniería 2010, octubre, Buenos Aires, Argentina.
- UNESCO: (1990). Entrevista a Gro Harlem Brundtland, Revista El Correo.
- Estrategias didácticas y metodológicas para transferir saberes ambientales en la formación del Ingeniero Civil. UTN, Facultades Regionales: Bahía Blanca, Buenos Aires, General Pacheco, Mendoza y Rosario (2017). Editores literarios: Tornello M., López M. Flores J., Ghellinaza E. 1º Edición. ISBN 978-987-3835-26-1

* * *

6

Inclusión de la Sostenibilidad Ambiental en las Carreras de Ingeniería Civil de la UTN Etapa Diagnóstica de Alumnos

Miguel Tornello, Edgardo Ghellinaza, Miriam López, José Flores

Resumen: Los profesionales de la ingeniería civil, a través de sus obras, son verdaderos agentes de transformación del ambiente, por ello resulta de vital importancia revisar la inclusión de conocimientos y criterios específicos en este campo, dentro de su proceso formativo. Por ello surge la necesidad de una revisión del diseño curricular de la carrera de Ingeniería Civil, a partir del Proyecto de Investigación denominado "Estrategias didácticas y metodológicas para transferir saberes ambientales en la formación del Ingeniero Civil de cinco Facultades de la UTN". De este proyecto participaron las siguientes Facultades Regionales: Buenos Aires, General Pacheco, Rosario, Bahía Blanca y Mendoza. Se busca adecuar los contenidos curriculares para introducir conocimientos, criterios y valores ambientales y sostenibles en el Diseño Curricular de Ingeniería Civil. Se pretende incluir conceptos e instrumentos que permitan comprender y apreciar el ambiente y su complejidad, entender la relación entre la actividad humana y el medio e integrar el factor ambiental en la actividad profesional de los ingenieros civiles. Con ello se pretende garantizar que los alumnos en su futuro desempeño como profesionales, incorporen a las actividades propias de su profesión un estilo sustentable de desarrollo.

Palabras claves: Formación ambiental, diseño curricular, ingeniería civil.

1. Introducción

La formación de ingenieros civiles para el desarrollo sustentable es uno de los desafíos fundamentales que hoy debe afrontar la Universidad como respuesta a las consecuencias no deseadas del sistema productivo a nivel mundial.

El Proyecto de Investigación se centró en el análisis de las posibles formas de encarar, estructural y orgánicamente, la difícil tarea de dar forma curricular a una necesidad acuciante, en el ámbito de la enseñanza de la ingeniería civil, a fin de asegurar que las competencias de los futuros profesionales incluyan los conocimientos y fundamentos éticos inherentes al ejercicio de la profesión y a la función social de la Ingeniería. El diseño curricular deberá propiciar la transmisión de saberes y la generación de competencias para el ejercicio de la ingeniería en un contexto de máxima sustentabilidad.

Los ingenieros civiles son profesionales promotores del desarrollo. Por ello, su actividad profesional tiene un fuerte impacto, positivo y/o negativo, sobre el territorio y el ambiente.

Existe una gran cantidad de definiciones de "desarrollo sustentable", pero se puede admitir como válida la definición adoptada por la CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) que la expresa como "transformación productiva, con equilibrio ecológico y equidad distributiva".

La necesidad de dar una respuesta profesional técnicamente viable, competente y éticamente comprometida a las demandas de la comunidad global, es razón para elaborar diseños curriculares de carreras de ingeniería que incorporen el reconocimiento y la consideración del concepto de desarrollo sustentable.

Dado que el Diseño Curricular constituye la expresión máxima a nivel de definición de fundamentos, contenidos, estrategias didácticas, pedagogías, etc., de las carreras en el ámbito de la enseñanza superior, el proyecto busca prestar especial consideración a esta herramienta, en el área específica de la Ingeniería Civil.

Si bien la investigación se realiza en el ámbito de un grupo de Facultades Regionales de la UTN, se alientan expectativas favorables a la extrapolación de conclusiones y experiencias. Se aspira también a la generación de referencias y/o directrices aplicables a la elaboración de futuros Diseños Curriculares para las carreras de Ingeniería Civil.

Además, en el proyecto de investigación se proponen acciones orientadas no solo a los destinatarios finales de la formación ambiental que son los alumnos, sino también a la construcción de una pedagogía innovadora capaz de relevar, explorar y formular nuevos enfoques metodológicos para la capacitación en el marco de complejidad y diversidad disciplinaria que supone la formación ambiental, dentro de la ya complicada organización de los procesos productivos propios de la industria de la construcción.

Una fortaleza es la peculiaridad de los Diseños Curriculares de las carreras de Ingeniería de la UTN que posibilitan la inclusión de actividades curriculares electivas, flexibles a la incorporación de contenidos integrados que articulen los aspectos tradicionales básicos para la formación de ingenieros, con los aspectos innovadores que se presentan como imperativo para el desarrollo sustentable.

La firmeza con la que se ha instalado la problemática ambiental en los foros y organismos mundiales, regionales y locales, no se corresponde con las medidas adoptadas en el área de la educación, siendo esencial asumir la responsabilidad de incentivar la formación ambiental en el área de la Ingeniería Civil.

Este artículo hace referencia a la etapa de diagnóstico del proyecto. Como instrumento para el análisis descriptivo de la situación de partida, se presentan los resultados de una encuesta dirigida a alumnos de los diferentes años de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Mendoza, que analiza las percepciones del alumnado acerca del grado de implementación de la temática ambiental en la carrera.

2. Estado actual

El carácter universal de la cuestión ambiental, sus significativas implicancias sobre la vida y el desarrollo de las comunidades, las preocupaciones a futuro que generan el inadecuado manejo de los recursos, el crecimiento económico, son algunos de los factores determinantes de la necesidad de inserción del tema ambiental.

Si bien el ser humano, como individuo o como integrante de una comunidad, ha manifestado inquietud para mejorar las condiciones ambientales de su hábitat, esta actitud pierde significación cuando el hábitat modifica su magnitud extendiéndose a un territorio mucho más amplio.

Aunque el hombre advierte hoy que la "realidad del ambiente global" limita sus posibilidades individuales para mejorar y preservar su hábitat local, los valores éticos y de comportamiento, esenciales a la convivencia humana, lo instan a enfrentar el imperativo de desarrollar planes y programas de capacitación en el área de la educación y de la formación ambiental. Los proyectos y acciones requerirán, para propender a su viabilidad, el ajuste de la escala temporal y espacial a lo regional y local, como estrategia para contrarrestar la propuesta teórica de los fallidos programas de educación ambiental históricamente implementados a través de la ONU.
A nivel de la comunidad internacional, la verificación del crecimiento exponencial del deterioro ambiental y la preocupación emergente, determinaron la inclusión, el tratamiento y la discusión de la temática ambiental en foros mundiales y en muchas agendas nacionales y regionales durante las últimas décadas. La instalación del tema exhibe un compromiso y una preocupación creciente que se evidencia analizando la evolución conceptual y programática de las discusiones, los diagnósticos y las acciones emanadas de dichos encuentros.

La Ley 25.675 General de Ambiente establece que la Educación Ambiental forma parte de los instrumentos necesarios para la política y la gestión ambiental del país. En sintonía con esa idea, la Ley 26.206 de Educación Nacional, ha indicado en su texto que se dispondrá de las medidas necesarias para proveer la educación ambiental en todos los niveles y modalidades del Sistema Educativo Nacional.

3. Marco teórico

A los fines de la evaluación del estado del conocimiento sobre el tema de formación ambiental, se estima conveniente

enunciar la secuencia temporal de algunos de estos eventos destacando la progresiva inclusión y evolución de conceptos y discursos relativos a las acciones necesarias para detener el deterioro ambiental, eventos que pretenden establecer acuerdos y trazar lineamientos de acción para avanzar en la línea del desarrollo sustentable.

Sucintamente, la cronología de los eventos mencionados es la siguiente:

- Año 1972: Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, Estocolmo Club de Roma. Publicación de "The Limits to Growth" (Los límites del crecimiento)
- Año 1976: Conferencia de la ONU sobre Asentamientos Humanos (Hábitat I)
- Año 1987: Informe Brundtland: "Our Common Future" (Nuestro Futuro Común).
- Año 1992: Conferencia de la ONU sobre Ambiente y Desarrollo (Conferencia de la Tierra de Río de Janeiro) - Agenda 21.
- Año 1993: Creación de la Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo
- Año 1996: Segunda Conferencia de la ONU sobre Asentamientos Humanos (Hábitat II) – Estambul, Turquía.
- Año 1997: Cumbre de Kyoto sobre calentamiento global
- Año 1997: Congreso Internacional UNESCO-PNUMA sobre educación y capacitación ambiental, Moscú.
- Año 1998: Cumbre de Buenos Aires sobre calentamiento global.
- Año 2002: Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (Río + 10) – Johannesburgo.
- Año 2007: 4º Congreso Internacional sobre Educación Ambiental “Tbilisi + 30”. Ahmadabad, India.
- Año 2009: Cumbre de Copenhague sobre calentamiento global.

4. Objetivos y metodología

La definición de los objetivos del proyecto de investigación conlleva la necesidad de abordar una primera aproximación al significado del término “formación ambiental”.

La formación ambiental constituye un objeto central del proyecto, y se la puede definir como: “la capacitación de los diversos actores del sistema educativo para desarrollar competencias aplicables al proceso de enseñanza-aprendizaje en base a una pedagogía ambiental”.

Se entiende que el proceso de la “formación ambiental” involucra la transdisciplinariedad, la complejidad y la consideración de las interrelaciones y contradicciones imperantes en el sistema social, económico, político y técnico a nivel global, regional y local.

Cabe destacar que esta interpretación se asocia a la definición propuesta por el PNUMA en 1993 y a los conceptos relativos a la organización del sistema social en el marco de un Desarrollo Sustentable.

5. Etapa diagnóstica

En esta etapa se desarrollaron varias tareas como recopilación de antecedentes, estudio de programas analíticos de materias de la carrera, etc.

En este documento se incluyen los resultados del relevamiento efectuado a alumnos de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Mendoza, para analizar y evaluar el grado de formación ambiental implementado en la carrera. La metodología consistió en un cuestionario cerrado, con escalas valorativas, escalas de frecuencia y opciones múltiples. En este estudio preliminar, se indagan las concepciones y apreciaciones de los alumnos, sobre la integración de la formación ambiental en la carrera. Por ello, la encuesta debe considerarse como un instrumento de exploración de ideas, creencias y percepciones generales en un terreno poco conocido (Rodríguez y otros, 1999; Grasso, 2006).

La misma consistió en una encuesta en soporte papel, con el propósito de facilitar el procesamiento de las respuestas obtenidas. Para su elaboración se tomó como modelo la encuesta realizada por la Facultad Regional Bahía Blanca para el mismo proyecto.

En forma simultánea se hicieron encuestas a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Mendoza.

En esta encuesta se hizo una introducción para que los alumnos tuvieran conocimiento del objetivo de la misma. Participaron 76 alumnos de 1º a 5º año que cursaban esos años durante el ciclo lectivo 2014, según el siguiente detalle:

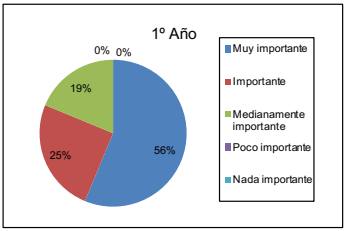
1º año	2º año	3º año	4º año	5º año
16 alumnos	18 alumnos	19 alumnos	4 alumnos	19 alumnos

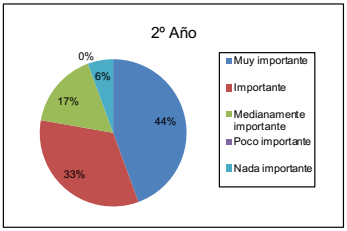
La encuesta parte de consultar en forma general la preocupación del alumno por los términos ambientales para profundizar luego en lo que acontece en la carrera.

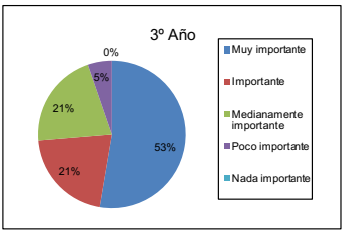
6. Resultados y conclusiones individuales

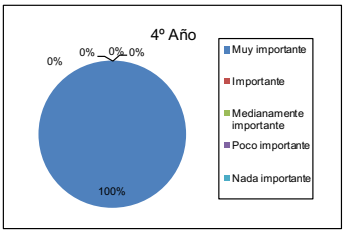
6.1 Pregunta Nº 1

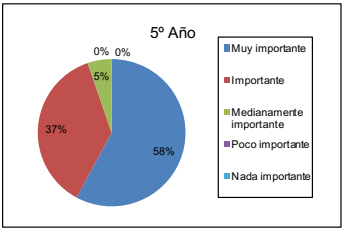
¿Cómo califica la protección del medio ambiente desde el ejercicio de la Ingeniería?







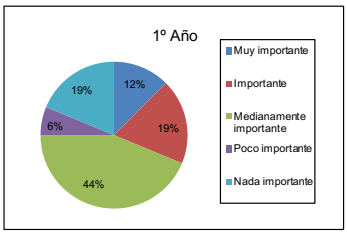


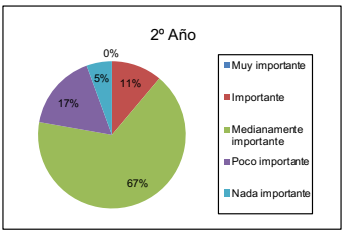


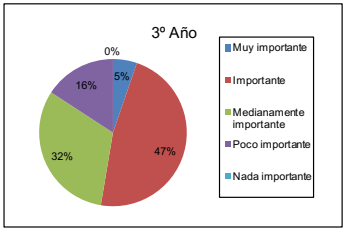
Se evidencia que los alumnos de la carrera ponderan como muy importante la protección del medio ambiente y tienen una visión positiva del ejercicio de la ingeniería con relación a su protección, debido a que en todos los niveles se obtuvieron los porcentajes más altos. Los porcentajes mayores se distribuyen entre el primer nivel de respuesta definido para la pregunta (muy importante) y el tercer nivel posible (medianamente importante). Las dos primeras categorías siempre suman valores del orden del 75% con un máximo de 5º año cuya suma es del 95%.

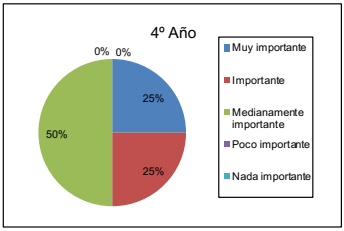
6.2 Pregunta Nº 2

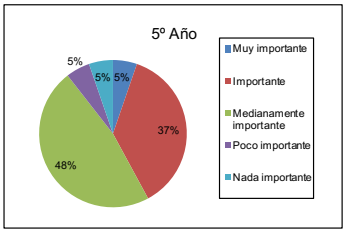
¿Qué grado de contaminación considera que presenta el entorno en el que desarrolla sus actividades?







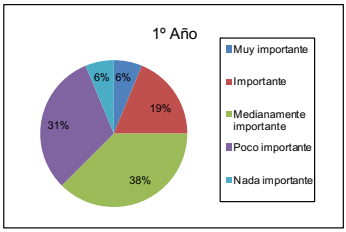


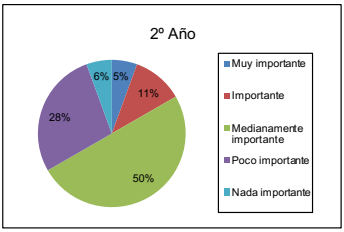


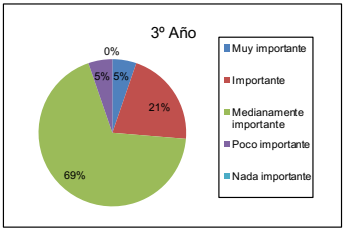
Los resultados indican una mayor disparidad de opinión de los alumnos en los distintos niveles de la carrera. Los mayores porcentajes se ubican en el tercer nivel de respuesta definido para la pregunta, es decir, que un mayor porcentaje de alumnos considera que existe un grado medianamente importante de contaminación en el entorno en que desarrolla sus actividades con casi un 50%. El segundo nivel de respuesta posible (importante) ha sido considerado alto por los alumnos del 3º nivel y del 5º nivel con valores de casi 50% y 40%, mientras que el resto de los niveles le ha restado significación al problema. A excepción del 1º, 2º y 5º nivel, este último con un muy bajo porcentaje, el resto de los alumnos pertenecientes a los otros años le asigna el último nivel posible de la respuesta (nada importante).

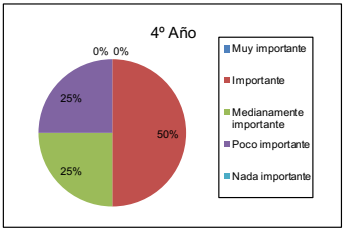
6.3 Pregunta Nº 3

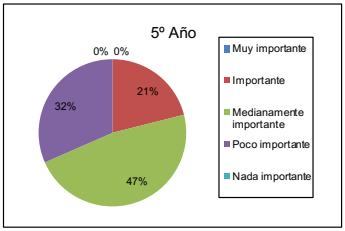
Califique el grado de conocimiento que tiene de las ciencias ambientales







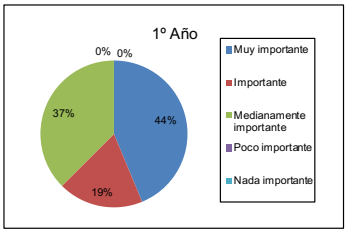


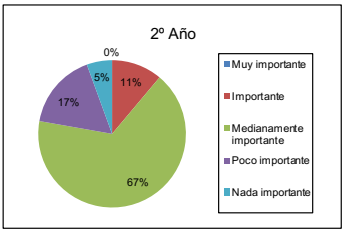


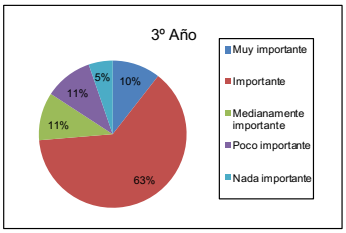
El resultado de esta se concentra fuertemente entre el tercer y cuarto nivel posible de respuesta para la pregunta (medianamente importante y poco importante respectivamente) aunque se destaca un 50% de los alumnos del cuarto año que califican como importante el grado de conocimiento que tienen de las ciencias ambientales. Otro porcentaje que resulta significativo es el cuarto nivel de respuesta posible para la pregunta, donde los alumnos de 1º, 2º, 4º y 5º año califican como poco importante el grado de conocimiento que tienen de las ciencias ambientales, porcentaje que varía entre 25% y 32%.

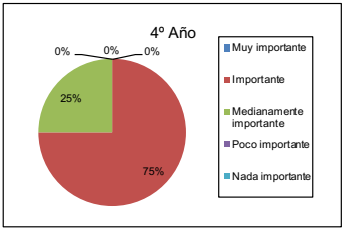
5.4 Pregunta Nº 4

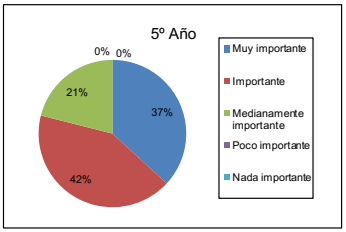
¿Qué nivel de profundización de los temas ambientales referidos a la Ingeniería Civil considera que debería impartir la carrera?







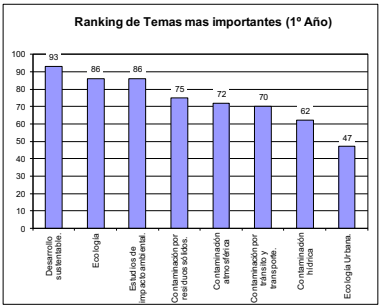


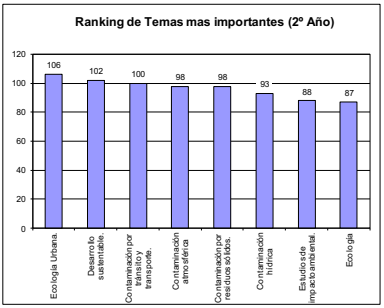


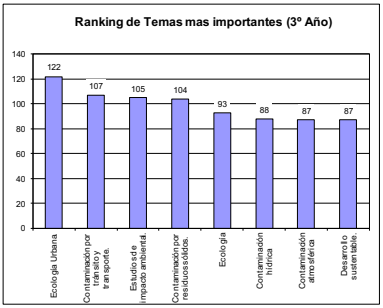
La cuarta pregunta concentra sus mayores porcentajes en los tres primeros niveles posibles de respuesta (muy importante, importante y medianamente importante). En términos generales, aproximadamente más del 85% de los alumnos encuestados, opina que el nivel de profundización de los temas ambientales referidos a la ingeniería civil que se debe impartir en la carrera se distribuye entre los tres niveles posibles de respuesta. Por lo tanto, en tal sentido los alumnos encuestados estiman necesario el tratamiento de temas ambientales en la currícula de la carrera.

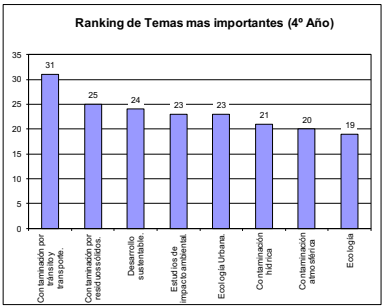
6.5 Pregunta Nº 5

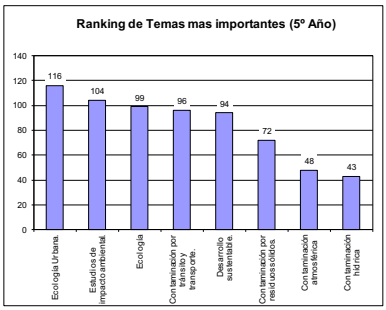
Clasifique por orden de importancia los temas que a continuación se detallan: Contaminación hídrica, Contaminación atmosférica, Ecología, Desarrollo sustentable, Contaminación por residuos sólidos, Estudios de impacto ambiental, Contaminación por tránsito y transporte, Ecología Urbana.







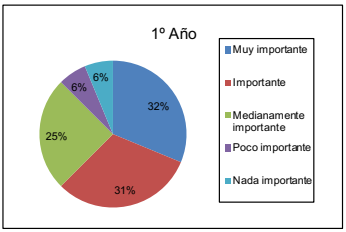


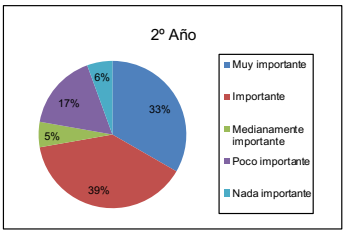


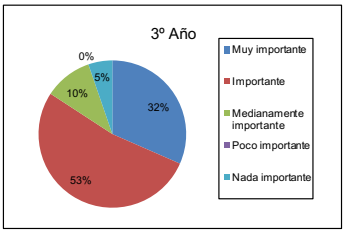
Con referencia al orden de importancia de los temas ambientales propuestos, en los primeros años se destacan la ecología, el desarrollo sustentable y la ecología urbana, mientras que en los últimos años se mencionan como prioritarios el tránsito y transporte, el estudio de impacto ambiental y los residuos sólidos.

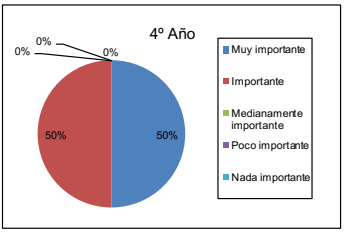
6.6 Pregunta Nº 6

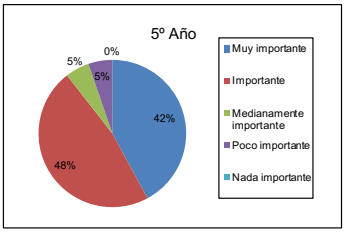
¿Cómo considera Usted la relación que tiene la Ingeniería Civil en la problemática ambiental?









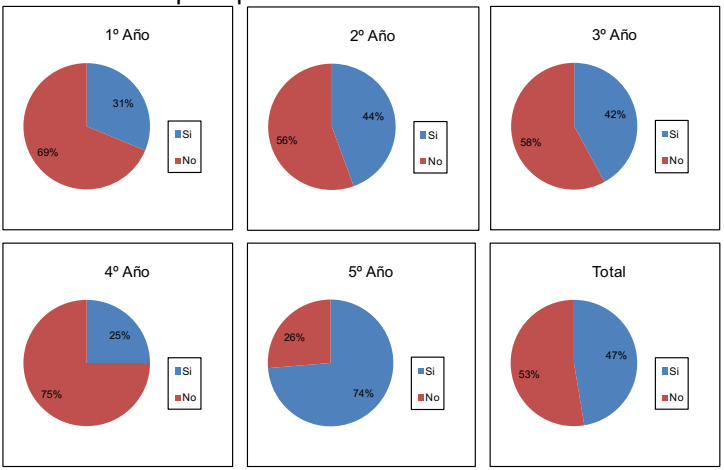


En esta pregunta se observa que los mayores porcentajes se concentran en los dos primeros niveles posibles de respuesta, a excepción del primer año donde se observa un porcentaje importante para el tercer nivel posible de respuesta para la pregunta. Es decir que la mayoría de los alumnos encuestados considera que es importante o muy importante la relación que tiene la ingeniería civil en la problemática ambiental.

En los 3 primeros años prácticamente el 70% lo considera importante o muy importante, y en los últimos dos casi la totalidad de los alumnos considera esos mismos niveles.

6.7 Pregunta Nº 7

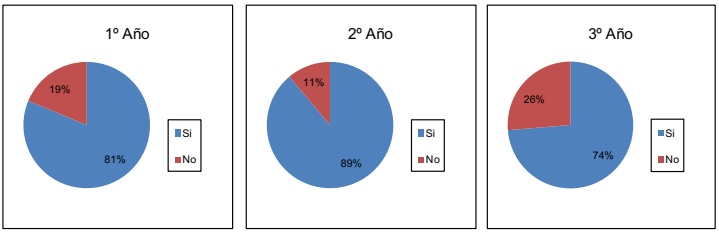
¿Tiene conocimiento sobre cumbres de países convocadas mundialmente para protección del medio ambiente?

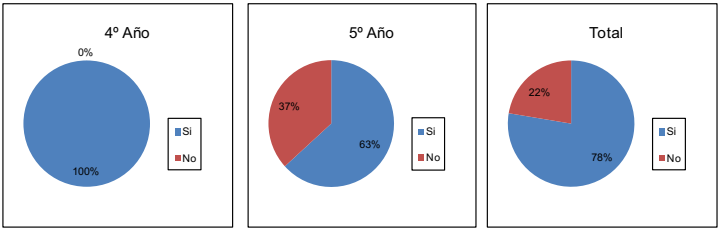


En esta pregunta se observa que la mayoría de los alumnos consultados entre 1º y 4º año desconocen las cumbres mundiales convocadas para la protección del medio ambiente. Mientras que casi el 75% de los alumnos de 5º año tienen conocimiento de estos eventos.

6.8 Pregunta Nº 8

¿La formación ambiental que Ud. ha recibido, promueve la cultura de la protección del medio ambiente?





A esta pregunta, los alumnos de todos los años han respondido afirmativamente, con porcentajes que varían entre casi un 65% y un 90%. Se observa mayores porcentajes en los primeros cuatro años de la carrera.

7. Conclusiones

Como conclusión de las encuestas se puede expresar que:

- La mayoría de los alumnos encuestados le asigna un nivel de importancia significativo a la protección del medio ambiente desde el ejercicio de la ingeniería civil.
- Un porcentaje elevado de alumnos encuestados considera que es relevante el grado de contaminación que presenta el entorno en el que desarrolla sus actividades.
- La mayoría de los alumnos califica con un porcentaje alto el grado de conocimiento que tiene de las ciencias ambientales.
- La mayoría de los alumnos le asigna un nivel significativo a la profundización que debería hacerse de los temas ambientales en la carrera de ingeniería civil.
- Un porcentaje alto de los estudiantes encuestados opina que la relación que tiene la ingeniería civil con la problemática ambiental es relevante.
- La encuesta revela también los temas en los cuales el alumno posee mayor interés; estos temas serán prioritarios en la profesión. Esto sugeriría la conveniencia de otorgarle un mayor tratamiento en el Diseño Curricular.
- Existe también evidencia de que el alumno desea incorporar actividades en materias troncales como electivas, con el

propósito de obtener más conocimientos en la temática ambiental.

En general se puede expresar que:

- Los alumnos adhieren a la visión para el Ingeniero Civil del 2015, establecida en la Cumbre sobre el futuro de la Ingeniería Civil, 2006, que establece como un mandato de la sociedad para la profesión el crear "un mundo sostenible y mejorar la calidad de vida global", debiendo los ingenieros civiles actuar de manera competente, colaborativa y ética.
- Existe consenso entre docentes y estudiantes acerca del rol crucial del ingeniero en la problemática ambiental.
- Hay una necesidad de una revisión integral del actual plan de estudios tanto en su dimensión prescrita como en su implementación y desarrollo, a la luz de una formación ambiental orientada al desarrollo sustentable.
- Es fundamental la formación y el perfeccionamiento de los docentes, actores principales en la construcción de un rol profesional de alto impacto sobre la preservación del medio ambiente, como factor indispensable.

8. Referencias

1. Castillo A., González Gaudiano E. (2009). Educación Ambiental y manejo de ecosistemas en México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología
2. González Gaudiano E.; Arias Ortiga M.A. (2008). La educación ambiental institucionalizada: actos fallidos y horizontes de posibilidad. Perfiles Educativos | vol. XXXI, núm. 124, 2009 IISUE-UNAM.
3. Grasso, L. (2006). Encuestas. Elementos para su diseño y análisis. Córdoba (Argentina): Encuentro Grupo Editor
4. Rodríguez, G., Gil, J., García, E. (1999). Metodología de la Investigación Cualitativa. Málaga. Ediciones Aljibe
5. UNESCO (1980), Las grandes orientaciones de la conferencia de Tbilisi, París, UNESCO.
6. UNESCO (1989), Educación ambiental: módulo para la formación de profesores y supervisores en servicio para las escuelas primarias, Santiago de Chile, Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe, UNESCO-PNUMA, Programa

Internacional de Educación Ambiental (Serie Educación Ambiental, 6).

7. UNESCO: (1990). Entrevista a Gro Harlem Brundtland, Revista El Correo. Septiembre 1990.

8. La formación ambiental en las carreras de Ingeniería Civil en la Universidad Tecnológica Nacional. Graham María, Bochatón Guillermo, Russo Osvaldo. UTN Facultad Regional Pacheco.

9. Implicancias pedagógicas de la formación ambiental en las carreras de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Pacheco. Graham María, Bochatón Guillermo, Russo Osvaldo.

10. Ambientalización del Diseño Curricular de Ingeniería Civil de la FRBB de la UTN: Etapa Diagnóstica. Bambill Eduardo, Montero Cecilia, Amado Laura, Castro Sebastián, Blázquez Pamela, Uribe Echevarria Inés, Faur Amira, Carrión Dante. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad Regional Bahía Blanca, UTN.

* * *

7

Mejora de los Indicadores Académicos del Espacio Curricular Matemática: Una Experiencia en la FCA-UNCUYO

Verónica Noemí Nodaro, Marta Eugenia Tirador,

Marcela Laura Garriga

Resumen: El presente trabajo tiene el fin de compartir la experiencia llevada a cabo por la cátedra de Matemática en la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCuyo con respecto a la mejora de los indicadores académicos relacionados a la regularidad en el cursado y a la aprobación del espacio curricular. Los resultados obtenidos en años anteriores muestran un bajo promedio de regularidad en el cursado y altos niveles de desaprobación en las mesas de examen. En un esfuerzo por mejorar dichos indicadores, se puso en marcha un proyecto que pretendió atacar la problemática de una manera unificada mediante dos líneas de acción definidas: a) programación e implementación de acciones tutoriales complementarias al dictado de Matemática, acompañadas de evaluaciones periódicas para medir la efectividad del trabajo realizado y permitir ir ajustando el rumbo hacia la aprobación del examen final de Matemática y b) inclusión del uso de las TICs en el proceso de enseñanza-aprendizaje, mediante la implementación y secuenciación de recursos y actividades didácticas en el campus virtual de una parte de los contenidos del espacio curricular para dar apoyo al curso.

Palabras claves: Educación a distancia, educación presencial, tutorías, digitalización de material.

Introducción

La cátedra de Matemática de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo (FCA-UNCuyo) dicta la materia “Matemática” para los alumnos de primer año de todas las carreras de dicha facultad: Ingeniería Agronómica, Ingeniería en Recursos Naturales y Renovables, Bromatología y Licenciatura en Bromatología. El régimen de cursado

consta de dos clases semanales con presencia obligatoria, donde se presentan los temas del programa y se da un espacio para que los alumnos desarrollen los trabajos prácticos propuestos. Al finalizar el cursado del espacio curricular los alumnos obtienen una las siguientes dos condiciones: “regular en Matemática” o “libre en Matemática”, que se denomina “condición final”. Esta última condición corresponde a todo estudiante que haya obtenido un porcentaje menor a 60%, como promedio de las notas obtenidas durante el proceso de enseñanza aprendizaje. Finalizado el cursado, los alumnos deben rendir una evaluación final para obtener la acreditación de Matemática, teniendo en cuenta que el tipo de examen final será acorde a la condición final alcanzada. En caso de que el alumno obtenga durante la cursada, un promedio de notas no inferior a 70%, el mismo puede acceder a rendir su examen final como una evaluación integradora, consistente en la resolución de un problema de aplicación, en grupos reducidos, pudiendo utilizar material bibliográfico en cualquier soporte, páginas web o apuntes.

Durante las cohortes de 2015, 2016 y 2017, se observa que, en “Matemática”, cursaron 289, 298 y 208 alumnos respectivamente, entre ingresantes y recursantes. En cuanto a la condición final en los años mencionados, se advierte que se mantiene un promedio de regularidad del 40%. No se observan diferencias estadísticamente significativas entre las carreras. La cohorte con menor tasa de regularidad fue la de 2016.

En cuanto a la aprobación, se analizaron 67 actas de examen: por un lado, se observó que sólo el 45% de los alumnos aprobó la materia y por otro lado, que el número promedio de veces que un alumno rinde Matemática es de 2,02. No se observan diferencias estadísticamente significativas entre carreras en cuanto a la tasa de aprobación y al número de veces que rinde un alumno.

Existen múltiples factores que tienen una incidencia potencial sobre los indicadores presentados. La atención se concentró en dos de ellos: por un lado, se observó la manera en la cual

se desarrollan las clases presenciales del espacio curricular (actualmente tradicional, con clases expositivas, poco participativas y prácticas individuales) y por otro lado, se analizaron las diferencias en los modos de aprendizaje de los alumnos en la actualidad con respecto a alumnos de algunas décadas atrás.

Teniendo en cuenta los indicadores presentados, se llevó a cabo un proyecto titulado: "Mejora de los indicadores académicos del espacio curricular Matemática". El mismo tuvo lugar en la FCA-UNCuyo desde setiembre de 2017 a marzo de 2018. El objetivo general del mismo fue el siguiente:

"Mejorar el rendimiento académico de los estudiantes en el espacio curricular Matemática para las carreras de la FCA en los aspectos de regularidad en el cursado y aprobación del espacio curricular".

Entre los objetivos específicos que se plantearon se pueden mencionar los siguientes:

- Incluir el uso de las TICs en el proceso de enseñanza-aprendizaje de Matemática.
- Programar e implementar acciones tutoriales complementarias al dictado de Matemática.
- Desarrollar e implementar medidas de impacto de las modificaciones que se realicen al dictado del espacio curricular.
- Actualizar la formación en el uso de las TICs de docentes de la cátedra de Matemática.

En un esfuerzo por aumentar el porcentaje de alumnos que obtiene la regularidad en el espacio curricular y el porcentaje de aprobados en el mismo, se plantearon dos frentes de tareas:

a) repasar los contenidos, con un sistema de tutorías dictado por los docentes de la cátedra a los alumnos de la cohorte 2017 y/o anteriores.

b) digitalizar actividades en el aula virtual de la cátedra en la página web de la FCA-UNCuyo.

Estas tareas fueron acompañadas con la revisión y actualización del material utilizado por la cátedra y por una adecuación de la manera de evaluar conceptos teóricos del espacio curricular.

Metodología y actividades

El proyecto constó de dos tareas fundamentales, por un lado, de un sistema de tutorías y por otro, de la digitalización de actividades en el aula virtual.

A continuación, se exponen las actividades llevadas a cabo en cada una de ellas.

a) Sistema de tutorías.

Como una medida de revisión y de fortalecimiento de los contenidos de la materia “Matemática”, se propuso, a los alumnos que no habían alcanzado la condición de “regular”, un repaso completo de los temas, de manera presencial y más personalizada. Se invitó a los alumnos que estuvieran interesados en esta actividad. Participaron del proyecto un total de 35 alumnos, número que fue disminuyendo con el paso de las clases. Una posible causal de esta baja en la cantidad de alumnos puede ser que el cursado no era obligatorio. Para fomentar el compromiso de los alumnos con el desarrollo de las tutorías fue que, a aquellos alumnos que cumplieran tanto con la asistencia como con la aprobación de los exámenes propuestos, tendrían la posibilidad de rendir un examen final en las mismas condiciones que las de un alumno regular.

Para la puesta en práctica de estas tutorías, se les entregó a los alumnos un cronograma de los temas a desarrollar. Las clases tutoriales se cursaron dos veces por semana. Los alumnos debían revisar el material previo a la clase, según el cronograma. Al llegar a la tutoría, el docente proponía distintas actividades para la interpretación de los conceptos, su relación con temas previos, su importancia dentro de la materia, su aplicación en problemas concretos; haciendo hincapié tanto en la parte práctica como en la teórica. Se les demandó a los alumnos mucha participación.

El cronograma incluyó también actividades evaluativas. Los alumnos debieron rendir los temas repasados en exámenes similares a los propuestos por la cátedra en el cursado de la materia.

Al finalizar la revisión de los temas y sus respectivas evaluaciones, se les propuso a los alumnos realizar simulacros de exámenes finales. Los mismos fueron de carácter individual, escrito y oral.

b) Digitalización de actividades en el aula virtual.

Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) son herramientas que se han ido instalando en los ambientes educacionales formales y han probado ser de gran utilidad en el proceso de enseñanza-aprendizaje actual. Propuestas basadas en las TIC y llevadas a cabo a través de campus virtuales, permiten al alumno gestionar mejor sus tiempos, acceder a material multimedial que enriquece la propuesta, acceder a foros, descargar material e interactuar de manera asincrónica con sus compañeros y con los docentes, entre otras importantes ventajas.

Teniendo en cuenta las ventajas proporcionadas por estas tecnologías, se propuso realizar un cronograma de actividades para poder digitalizar la mayor cantidad de temas posibles.

A continuación se expone un breve resumen de las actividades realizadas durante el desarrollo del proyecto.

- Agosto de 2017.
  - Se relevaron propuestas existentes que utilizan TICs de manera acorde a la temática y afines al espíritu de la propuesta de enseñanza-aprendizaje de Matemática en la FCA-UNCuyo.
  - Se estudió, discutió y evaluó el material relevado para identificar elementos útiles que pudieran ayudar a la digitalización de la asignatura.
  - Se realizó un diseño didáctico de la propuesta.

- Setiembre, octubre, noviembre, diciembre de 2017 y febrero de 2018.
  - Se generaron ejercicios en el banco de preguntas del campus de la Facultad diferenciados por dificultad. Se elaboraron más de 1000 preguntas de diferentes tipos: opción múltiple, verdadero-falso, emparejamiento, respuesta corta, arrastrar y soltar, etc.
  - Se realizaron prácticas de prueba de la propuesta. Estas prácticas las llevaron a cabo alumnos concurrentes que colaboraron con el proyecto.
  - Se digitalizaron algunos temas seleccionados del programa de la asignatura en el campus de la Universidad.
- Marzo de 2018.

Se puso en práctica el material elaborado durante los meses previos. Algunas de las medidas llevadas a cabo fueron las siguientes.

- A partir del año 2018, las clases tienen un 25% de carga horaria virtual y un 75% de carga horaria presencial.
- Dentro de la carga virtual de la materia se pueden distinguir:

  a) actividades en el campus virtual: se realizaron durante el desarrollo de cada núcleo temático, fueron evaluadas y además sirvieron de entrenamiento para las evaluaciones post-clase.

  b) evaluaciones post-clase: se tomaron al finalizar cada núcleo temático y la temática evaluada fue aquella que se desarrolló en clases anteriores.
- Cada uno de los docentes de la cátedra de Matemática tuvo a cargo un grupo de 25 alumnos aproximadamente. Se armaron grupos de Whatsapp para resolver dudas con respecto a las actividades en el campus.

Conclusiones

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos respecto de la regularidad y de la aprobación en el primer cuatrimestre del

2018 en el espacio curricular Matemática para las carreras de la FCA-UNCuyo, se arribó a las siguientes conclusiones.

- El porcentaje de regularidad en el espacio curricular mejoró con respecto a años anteriores. En el año 2018, se obtuvo un 60% de regulares, en comparación con el 40% que habitualmente se obtenía.
- De la totalidad de los alumnos que cursaron “Matemática”, el 40% obtuvo un promedio de notas mayor o igual a 70%.
- La totalidad de los alumnos regulares que obtuvieron un porcentaje mayor o igual a 70% y que optaron por rendir la evaluación integradora, aprobaron su examen final en primera instancia.
- En la primera mesa de examen posterior al cursado aprobó el 72% de los alumnos que se inscribieron para rendir, incluyendo en dicho porcentaje a los estudiantes que optaron por rendir la evaluación integradora mencionada en el ítem anterior.
- Con respecto a los resultados obtenidos en la tutoría disciplinaria, el 43% de los alumnos que se inscribieron en la misma, aprobaron su examen final.

En base a los resultados expuestos, se observa que los indicadores han mejorado notablemente: aumentaron las tasas de regularidad en el curso de Matemática y se mejoraron las tasas de aprobación de “Matemática” en las mesas de examen.

El uso del campus permitió al alumno gestionar sus propios tiempos y poder acceder a material multimedial. El trabajo realizado en el campus generó también que los alumnos llevaran la materia al día, ya que para poder resolver los ejercicios propuestos necesitaron de un estudio permanente.

El uso de Whatsapp le permitió al alumno interactuar con sus docentes en forma fluida e inmediata para poder atacar dificultades en los temas desarrollados en clase o para consultar por dificultades técnicas en el funcionamiento del campus.

Se considera que tanto el trabajo realizado desde el campus, como el de las tutorías han influido notablemente para que los indicadores mejoraran.

Referencias

Prieto, D., López, M. y D' Ambrosio, R. (1999). "Curso Interuniversitario de Educación a Distancia*" Red de Educación a Distancia*. Módulo 2, pp. 17.

Pietro, D. (2000). "La enseñanza en la Universidad". Mendoza. Ediunc. 3° edición.

Gil, J. (2000). "Utilización de nuevas tecnologías de informática y comunicaciones en el proceso pedagógico". Mendoza.

* * *

8

Una Propuesta de Integración de Saberes de dos Ciencias Básicas: Álgebra Lineal y Análisis Matemático

Noemi Sonia Vega, Gabriela Beatriz Tomazzeli

Resumen: Este trabajo tiene por finalidad examinar algunos casos de integración de conceptos, de los cuales se apropian los alumnos de primer año de la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Mendoza, durante el cursado de las ciencias "Álgebra y Geometría Analítica" y "Análisis Matemático I". Por supuesto, sin perder de vista, que estos ejemplos de integración se construyen en relación a dos cursos básicos de primer año de ingeniería. Los objetivos que se han tomado como marco para el desarrollo del trabajo conjunto en las mencionadas asignaturas, se corresponden con los objetivos del proyecto ¨Matemática educativa en carreras de ingenierías tecnológicas". Este último, en curso, en la unidad académica de ciencias básicas de la misma Facultad. En una primera etapa, se ha comenzado con la elaboración de material ilustrativo de modelos de integración. El mismo consta de ejemplos representativos de la teoría de espacios vectoriales conjuntamente con la teoría de funciones. Estos ejemplos, sustentados en vinculaciones de conceptos que posibiliten enriquecer ambas cátedras. Se espera de esta manera integrar saberes, favoreciendo el acercamiento entre las cátedras y la profundización de conceptos. De este modo también, se busca fomentar en los alumnos el gusto por el conocimiento.

Palabras Claves: Saberes, Álgebra y Geometría Analítica, Cálculo, Integración, Espacios Vectoriales

La motivación de los autores para el desarrollo de este trabajo aparece al tener en cuenta la importancia de las ciencias básicas en las carreras de ingeniería, y consecuentemente, la necesidad de formar a los estudiantes en la adquisición de capacidades para la integración de conceptos. Para ello, se comienza considerando algunos conocimientos básicos adquiridos por los alumnos de primer año durante el cursado simul-

táneo de las cátedras de “Álgebra y Geometría Analítica” y “Análisis Matemático I”, dictadas en el primer semestre de las carreras de ingeniería de dicha Facultad. Es decir, se efectúa un recorrido por temas fundamentales de las dos ciencias mencionadas, realizando vinculaciones, a través de ejemplos de integración. Por supuesto, sin perder de vista que los cursos mencionados se dictan a estudiantes que tienen su primer acercamiento a la vida universitaria.

Se espera de este modo, integrar saberes, de manera de promover en los alumnos el gusto por el conocimiento. Además, se busca favorecer el acercamiento entre las cátedras y la profundización de conceptos.

Los objetivos que se han tomado como marco para la elaboración de este trabajo, se corresponden con algunos de los enunciados en el proyecto ¨Matemática educativa en carreras de ingenierías tecnológicas”, en proceso en esta Facultad. Entre los objetivos, se priorizaron los siguientes: el primero, referido a la importancia de crear entornos de aprendizajes significativos que favorezcan las oportunidades de aprender en Matemática; el segundo, considera la articulación e integración de las herramientas matemáticas del ciclo básico. Otro de los objetivos elegidos, hace referencia a la formación de tutores-alumnos en el área de las disciplinas Matemáticas.

1. Espacios vectoriales funcionales

En la enseñanza de la Matemática, particularmente en el desarrollo de los cursos básicos de Álgebra y Cálculo, aparecen conjuntos en los cuales interesa trabajar con combinaciones lineales de objetos matemáticos. Surge en forma inmediata el concepto de ¨espacio vectorial¨, como aquel conjunto que tiene la particularidad de contener a todas las combinaciones lineales de sus elementos. De otra forma, los objetos de estos conjuntos pueden sumarse unos con otros y multiplicarse por escalares, exigiendo además que estas operaciones verifiquen los axiomas correspondientes. De este concepto, se derivan otros, tales como, subespacios vectoriales, sistemas generadores, dependencia e independencia lineal, bases de un espacio vectorial, entre otros. Por esta razón, en primera

instancia, se muestra material elaborado, que consta de ejemplos representativos de la teoría de espacios vectoriales conjuntamente con la teoría de funciones. En todos los casos, el concepto de espacio vectorial estudiado en Álgebra, se integra con diferentes conjuntos de funciones que han sido estudiados en el curso de Cálculo.

A continuación, se examina el conjunto $C(-\infty;\infty)$ de las funciones continuas en la recta real.

Para comenzar, se define en dicho conjunto la suma:

$$+ : C(-\infty;\infty)\, x\, C(-\infty;\infty) \to C(-\infty;\infty) \qquad [1]$$

$$(f;g) \to (f+g)(x) = f(x) + g(x)$$

Por propiedad de las funciones continuas se sabe que la suma de funciones continuas es también otra función continua. Lo que indica que la suma definida es cerrada en el conjunto $C(-\infty;\infty)$. A su vez, es sabido que estas funciones asocian y conmutan, es decir cualesquiera sean las funciones: f, g y h de $C(-\infty;\infty)$ cumplen:

$$[\ (f+g)+h](x) = (f+g)(x) + h(x) = [f(x) + g(x)] + h(x) =$$

$$= f(x) + [g(x) + h(x)] = f(x) + (g+h)(x) =$$

$$= [f + (g+h)](x)$$

y $(f+g)(x) = f(x) + g(x) = g(x) + f(x) = (g+f)(x)$

Existe también la función nula $0(x) = 0$, elemento neutro para la adición de funciones en $C(-\infty;\infty)$, que verifica:

$$(f+0)(x) = f(x) + 0(x) = 0(x) + f(x) = (0+f)(x) = f(x)$$

Además, para cada función f de $C(-\infty;\infty)$, existe una función opuesta, - f, también de $C(-\infty;\infty)$ que satisface:

$$[f+(-f)](x)=f(x)+[-f(x)]=f(x)-f(x)=0(x)$$

Se define también en $C(-\infty;\infty)$, la multiplicación de una función continua por un escalar:

$$\cdot : IR\,x\,C(-\infty;\infty) \rightarrow C(-\infty;\infty) \qquad [2]$$

$$(\alpha;f) \rightarrow (\alpha.f)(x)=\alpha.f(x)$$

Por propiedad de las funciones continuas se cumple que la multiplicación de una función continua por un escalar es otra función continua, lo que confirma que el producto definido es cerrado en el conjunto $C(-\infty;\infty)$.

Además, son ciertas las afirmaciones enunciadas a continuación:

$$a)[(\alpha+\beta).f](x)=(\alpha+\beta).f(x)=\alpha.f(x)+\beta.f(x)=$$
$$=(\alpha.f)(x)+(\beta.f)(x)=(\alpha.f+\beta.f)(x)$$

$$b)[\alpha.(f+g)](x)=\alpha.(f+g)(x)=\alpha.[f(x)+g(x)]=\alpha.f(x)+\alpha.g(x)$$
$$=(\alpha.f)(x)+(\alpha.g)(x)=(\alpha.f+\alpha.g)(x)$$

$$c)[(\alpha.\beta)f](x)=\alpha[\beta\,f(x)]=\alpha.(\beta.f)(x)=[\alpha(\beta.f)](x)$$

$$d)(1.f)(x)=1.f(x)=f(x)$$

De lo analizado se concluye, que el conjunto $C(-\infty;\infty)$ con la suma y multiplicación por un escalar definidos anteriormente, es un espacio vectorial.

1.1. Subespacios vectoriales funcionales

Previamente, se hizo mención de otra noción de gran importancia en el desarrollo de esta teoría, los ¨subespacios vectoriales¨. Es sabido que reciben este nombre todos los subconjuntos, no nulos, de un espacio vectorial V que son espacios vectoriales por sí mismos respecto de las mismas leyes definidas en V. Para la determinación de estos conjuntos, es conveniente el uso del llamado ¨teorema de la condición necesaria y suficiente para la determinación de un subespacio vectorial¨.

A continuación, se considera como conjunto V al conjunto de todas las funciones reales en el intervalo $[0;1]$, con las operaciones definidas previamente en [1] y en [2]. Haciendo uso del teorema mencionado, se muestra que determinados subconjuntos de funciones son subespacios vectoriales de V.

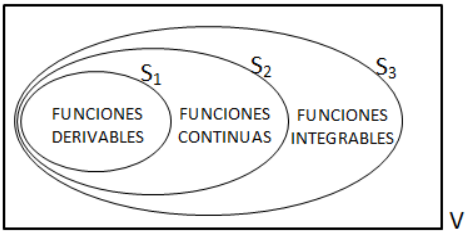
Considérese:

S_1: conjunto de todas las funciones derivables en $[0;1]$;

S_2: conjunto de todas las funciones continuas en $[0;1]$;

S_3: conjunto de todas las funciones integrables en $[0;1]$.

Es interesante observar que $S_1 \subset S_2 \subset S_3 \subset V$, lo cual puede visualizarse en el diagrama que sigue:



A continuación se prueba que S_3 es subespacio vectorial de V; que S_2 es subespacio vectorial de S_3 y que S_1 es subespacio vectorial de S_2 .

Primeramente se demuestra que el conjunto S_3 de las funciones integrables en $[0;1]$ es un subespacio del conjunto V ya definido. Para comenzar se tiene en cuenta que para que una función sea integrable en $[0;1]$, es necesario que esté definida en dicho intervalo, por lo que resulta válido afirmar que $S_3 \subset V$. Por otra parte, es cierto que la función nula es una función integrable, es decir, dicha función pertenece a S_3 y en consecuencia S_3 no es vacío. Además, por propiedades de las integrales, sabemos que la integral de una suma de funciones es igual a la suma de las integrales de cada una de dichas funciones y la integral del producto de una constante por una función es igual al producto del escalar por la integral de la función. Es decir:

$$\int_0^1 f(x)\,dx + \int_0^1 g(x)\,dx = \int_0^1 [f(x)+g(x)]dx = \int_0^1 (f+g)(x)\,dx$$

$$\alpha \int_0^1 f(x)\,dx = \int_0^1 \alpha\, f(x)\,dx = \int_0^1 (\alpha\, f)(x)\,dx$$

De esta manera, si f y g son funciones integrables y α es un escalar, la función $f+g$ y la función αf son también funciones integrables. Por lo que S_3 es cerrado para la suma y la multiplicación por un escalar. Esto permite afirmar que S_3 es un subespacio vectorial de V.

En segundo lugar, se muestra que el conjunto S_2 de las funciones continuas en $[0;1]$ es un subespacio vectorial del conjunto S_3 de las funciones integrables en $[0;1]$. Para ello, haciendo uso del teorema “Si una función es continua en un intervalo entonces es integrable en dicho intervalo”, se garan-

tiza que toda función continua en $[0;1]$ es integrable en $[0;1]$. Luego, $S_2 \subset S_3$. Además, la función nula es una función continua, por lo cual pertenece a S_2 y S_2 no es vacío. Por otra parte, por propiedad de las funciones continuas, es verdadero que la suma de funciones continuas es otra función continua y el producto de un escalar por una función continua es otra función continua. Lo cual permite concluir que S_2 es cerrado para la suma y la multiplicación por un escalar. De modo que queda probado que S_2 es un subespacio vectorial de S_3.

Por último, se muestra que el conjunto S_1 de las funciones derivables en $[0;1]$, es un subespacio vectorial del conjunto S_2 de las funciones continuas en $[0;1]$. Teniendo en cuenta el siguiente teorema: "Si una función es derivable en un intervalo entonces es continua en dicho intervalo", es posible afirmar que toda función derivable en $[0;1]$ es continua en $[0;1]$. Luego, $S_1 \subset S_2$. Además, la función nula es una función derivable, por lo cual S_1 no es vacío. A su vez, por propiedad de las funciones derivables se tiene que la suma de las derivadas de funciones es igual a la derivada de la suma de dichas funciones y, el producto de un escalar por la derivada de una función es igual a la derivada del producto del escalar por la función:

$$f'(x) + g'(x) = [f(x) + g(x)]' = (f + g)'(x)$$

$$\alpha f'(x) = [\alpha f(x)]' = (\alpha f)'(x)$$

Esto permite aseverar que S_1 es cerrado para la suma y el producto por un escalar. En conclusión, S_1 es un subespacio vectorial de S_2.

En resumen y usando la ley de transitividad, se tiene que tanto las funciones derivables como las funciones continuas y las funciones integrables, son ejemplos de subespacios del espacio de funciones definidas en $[0;1]$.

1.2. Dependencia e independencia lineal en espacios de funciones

Los conceptos de dependencia e independencia lineal también pueden ser estudiados en espacios vectoriales de funciones. Si se considera el conjunto $\{f_1; f_2; f_3; ...; f_n\}$, formado por n funciones derivables hasta el orden $n-1$, definidas en un intervalo $[a;b]$, se llama determinante wronskiano al siguiente:

$$W(f_1;f_2;f_3;...;f_n)=\begin{vmatrix} f_1 & f_2 & f_3 & ... & f_n \\ f_1' & f_2' & f_3' & ... & f_n' \\ f_1'' & f_2'' & f_3'' & ... & f_n'' \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ f_1^{(n-1)} & f_2^{(n-1)} & f_3^{(n-1)} & ... & f_n^{(n-1)} \end{vmatrix}$$

Este determinante permite estudiar la independencia lineal de un conjunto de funciones mediante el teorema siguiente: "Si el wronskiano de un conjunto de funciones es distinto de cero para algún punto de un intervalo, entonces las funciones asociadas son linealmente independientes en dicho intervalo".

En el espacio vectorial V representado por el conjunto de las funciones reales, y por teorema enunciado, es posible definir un conjunto de funciones linealmente independientes tales como el de las funciones polinómicas $\{1;t;t^2;t^3\}$, cuyo wronskiano es no nulo. Puede verse a continuación:

$$W(1;t;t^2;t^3)=\begin{vmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 \\ 0 & 1 & 2t & 3t^2 \\ 0 & 0 & 2 & 6t \\ 0 & 0 & 0 & 6 \end{vmatrix}=12$$

Otro ejemplo, pero ahora de dependencia lineal, lo constituyen las funciones trigonométricas: $f_1(t)=\cos^2(t)$, $f_2(t)=sen^2(t)$

y $f_3(t)=1$, con t real. De donde puede concluirse que, $f_1+f_2-f_3=0$, por lo que las tres funciones son linealmente dependientes.

1.3. Base y dimensión en espacios de funciones

Siempre que resulta preciso determinar una base de un espacio vectorial, se analizan previamente los conceptos de independencia lineal y conjunto generador. En adelante, se exponen algunos ejemplos.

Al considerar el conjunto de todos los polinomios reales, se puede definir el subespacio generado por el conjunto de polinomios $\{1;t;t^2\}$ como aquél formado por todos los polinomios de grado menor o igual a dos, es decir el conjunto: $Gen(1,t,t^2)=\{a\,t^2+b\,t+c;\ \ a,b,c\ de\ IR\}$

De forma similar se puede tomar el subespacio generado por $\{t;t^2;t^3\}$, con lo que se obtiene el conjunto de todos los polinomios de grado menor o igual a dos, que pasan por el origen. Resulta: $Gen(t,t^2,t^3)=\{a\,t^3+b\,t^2+c\,t;\ \ a,b,c\ de\ IR\}$

Evaluando el wronskiano de los conjuntos $\{1;t;t^2\}$ y $\{t;t^2;t^3\}$:

$$W(1;t;t^2)=\begin{vmatrix}1 & t & t^2\\ 0 & 1 & 2t\\ 0 & 0 & 2\end{vmatrix}=2 \qquad W(t;t^2;t^3)=\begin{vmatrix}t & t^2 & t^3\\ 1 & 2t & 3t^2\\ 0 & 2 & 6t\end{vmatrix}=2t^3$$

Lo concluido anteriormente, valida, por definición de base, que $\{1;t;t^2\}$ y $\{t;t^2;t^3\}$ constituyen bases de los conjuntos $Gen(1;t;t^2)$ y $Gen(t;t^2;t^3)$, respectivamente. Luego, la dimensión de ambos subespacios es tres.

El recorrido previo confirma el estudio de conjunto generador, de independencia lineal, la obtención de bases, y más aún, la determinación de la dimensión de un espacio vectorial. Todo ello, en el contexto del análisis funcional.

Continuando en el mismo espacio vectorial V de las funciones reales definidas en la recta real, otro ejemplo destacable de subespacio de V, es aquél generado por $\{e^{ax}; x\,e^{abx}\}$:

$$Gen(e^{ax}; x\,e^{abx}) = \{f(x) = A\,e^{ax} + B\,x\,e^{ax} \;\; ; \;\; A,\, B\, de\;\; IR\}$$

Este conjunto puede interpretarse como el conjunto solución de una ecuación diferencial lineal homogénea, de segundo orden y con raíces reales repetidas. Si además se tiene en cuenta que el conjunto $\{e^{ax}; x\,e^{abx}\}$ es linealmente independiente, pues su wronskiano resulta diferente del nulo:

$$W(e^{ax}; x\,e^{ax}) = \begin{vmatrix} e^{ax} & x\,e^{ax} \\ a\,e^{ax} & (1+a\,x)e^{ax} \end{vmatrix} = e^{2ax} \neq 0$$

Entonces, el conjunto $\{e^{ax}; x\,e^{abx}\}$ es una base de $Gen(e^{ax}; x\,e^{abx})$ y su dimensión es dos.

Para terminar, un conjunto de funciones que resulta interesante analizar, es el conjunto $\{1; e^{ax}; x\,e^{bx}\}$, siendo $a \neq b$. Ya que, si $a \neq 0$ y $b \neq 0$, entonces el conjunto es linealmente independiente y de dimensión tres, pero si $a = 0$ ó $b = 0$ entonces el conjunto es dependiente y la dimensión del espacio generado por dicho conjunto resulta igual a dos.

2. Espacios vectoriales con producto interior

Considerando el espacio $C[a;b]$ de todas las funciones reales continuas en un intervalo $[a;b]$, se define la siguiente función:

$$< >: C[a;b]\, x\, C[a;b] \to IR \quad dada \quad por \qquad [3]$$

$$< f, g > = \int_a^b f(x).g(x)\, dx$$

Esta función verifica los siguientes axiomas:

a) $< f, g > = \int_a^b f(x).g(x)\, dx = \int_a^b g(x).f(x)\, dx = < g; f >$

b) $< f + g, h > = \int_a^b [f(x) + g(x)].h(x)\, dx =$

$$= \int_a^b f(x).h(x).dx + \int_a^b g(x).h(x)\, dx = < f; h > + < g; h >$$

c) $< \alpha f, g > = \int_a^b \alpha f(x).g(x)\, dx = \alpha \int_a^b f(x).g(x).dx = \alpha < f; g >$

d) $< f, f > = \int_a^b f^2(x)\, dx \geq 0$

$$< f, f > = \int_a^b f^2(x)\, dx = 0 \iff f(x) = 0$$

Por lo que la misma, resulta un producto interior, concepto ya adquirido por los estudiantes. Teniendo en cuenta este producto, se puede considerar otro, de gran importancia, la norma. En este caso:

$\| \ \| : C[a;b] \to IR_0^+$ dada por $\|f\| = \sqrt{\int_a^b f^2(x)\, dx}$

También, en un espacio con producto interior, existen propiedades que resultan de interés. Entre ellas, es bien conocida la desigualdad de Cauchy-Schwarz, que se aplica en este caso,

a las funciones del espacio en el cual se está trabajando. Dicha desigualdad es:

$$|< f, g >| \leq \|f\|.\|g\|$$

Si se tiene en cuenta el producto interior definido en [3], la desigualdad de Cauchy - Schwarz, resulta:

$$\left| \int_a^b f(x).g(x)\,dx \right| \leq \sqrt{\int_a^b f^2(x)\,dx} \,.\sqrt{\int_a^b g^2(x)\,dx}$$

Puede citarse como ejemplo más específico aún de las definiciones previas, el siguiente: dadas las funciones $f(x) = 1$ y $g(x) = x$ en el espacio de las funciones continuas en $[0;1]$, con el producto escalar definido en [3] se tiene:

a) $< f; g >= \int_0^1 x\ dx\ = \dfrac{1}{2}$

b) $\|f\| = \sqrt{\int_0^1 1\,dx} = 1$ y $\|g\| = \sqrt{\int_0^1 x^2\ dx} = \dfrac{1}{\sqrt{3}}$

c) la desigualdad de Cauchy-Schwarz:

$$|< f; g >| = \frac{1}{2} \quad \text{y}$$

$$\|f\|.\|g\| = \sqrt{\int_0^1 1\,dx} \,.\sqrt{\int_0^1 x^2\ dx} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cong 0{,}577$$

de donde: $|< f; g >| \leq \|f\|.\|g\|$

$0{,}5 \leq 0{,}577$ se verifica.

2.1. Relaciones de ortogonalidad en espacios funcionales

Un producto interior apropiado para analizar en el espacio vectorial real $C[1;e]$, es:

$$< f, g >= \int_1^e \ln(x)\ f(x).g(x)\,dx \qquad [4]$$

Teniendo en cuenta este producto, la norma de la función $f(x) = x$ se obtiene como sigue:

$$\|f\| = \sqrt{\int_1^e \ln(x)\ f^2(x)\,dx} = \sqrt{\int_1^e \ln(x)\ x\ dx} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}x^2\ln(x) - \frac{1}{4}x^2\right]_1^e}$$

$$\|f\| = \frac{1}{2}\sqrt{e^2+1}$$

Interesa hallar el polinomio $g(x) = ax + b$ que resulte ortogonal a la función constante uno, $f(x) = 1$. Para que ambas funciones sean ortogonales, su producto interior debe ser nulo. Es decir:

$$< f; g >= 0$$

$$\int_1^e \ln(x)\ (ax+b)\,dx = 0$$

$$\int_1^e \ln(x)\ axdx + \int_1^e b\ln(x)\,dx = 0$$

$$\left(\frac{1}{2}a\,x^2\ln(x) - \frac{1}{4}a\,x^2 + b\,x\ln(x) - bx\right]_1^e = 0$$

$$\frac{1}{4}a\,e^2 + \frac{1}{4}a + b = 0 \qquad \text{(ecuación con dos incógnitas)}$$

Siendo a, un valor arbitrario, se obtiene: $b = -\frac{1}{4}a(e^2+1)$, por lo que el polinomio de primer grado ortogonal a $f(x)=1$ debe tener la forma:

$$g(x) = ax - \frac{1}{4}a(e^2+1)$$

Por otra parte, es sabido que todo espacio interior de dimensión finita tiene una base ortogonal. Así por ejemplo, en el espacio de las funciones continuas definidas en el intervalo $[0;2\pi]$, con el producto interior:

$$< f, g >= \int_0^{2\pi} f(x).g(x)\,dx$$

el conjunto de las funciones $S = \{f_0; f_1; f_2; f_3;...\}$ dadas por: $f_0(x)=1$, $f_{2n-1}(x) = \cos(nx)$ y $f_{2n}(x) = sen(nx)$, para $n = 1,2,3,.....$, resulta un conjunto ortogonal de funciones. Puesto que:

$$< f_n, f_m >= \int_0^{2\pi} f_n(x).f_m(x)\,d\,x = 0$$

siempre que $n \neq m$.

Además, dado que ningún elemento de S es el elemento nulo, el conjunto S es linealmente independiente.

Y, la norma de cada uno de los elementos de S es:

$$\|f_0\| = \sqrt{\int_0^{2\pi} 1\,dx} = \sqrt{2\pi} \quad ; \quad \|f_{2n}\| = \sqrt{\int_0^{2\pi} sen^2(nx)\,dx} = \sqrt{\pi}$$

.

$\|f_{2n-1}\| = \sqrt{\int_0^{2\pi} \cos^2(nx)\,dx} = \sqrt{\pi}$ para n entero positivo

De esta manera, el conjunto $\{\varphi_0;\varphi_1;\varphi_2;\varphi_3;...\}$ con $\varphi_n(x) = \dfrac{f_n(x)}{\|f_n(x)\|}$, con n entero positivo, es un conjunto ortonormal de funciones.

Siendo:

$\varphi_0(x) = \dfrac{1}{\sqrt{2\pi}}$; $\varphi_{2n-1}(x) = \dfrac{\cos(nx)}{\sqrt{\pi}}$; $\varphi_{2n}(x) = \dfrac{sen(nx)}{\sqrt{\pi}}$ con $n \geq 1$

Particularizando para los $(2n+1)$ primeros elementos de este conjunto ortonormal, es decir, para $\{\varphi_0;\varphi_1;\varphi_2;...;\varphi_{2n}\}$, ellos generan un subespacio W del conjunto $C[0;2\pi]$ de dimensión $2n+1$, cuyos elementos reciben el nombre de *polinomios trigonométricos.*

Más aún, si g es una función de $C[0;2\pi]$, y g_n es la proyección de g sobre el subespacio W, entonces g_n puede escribirse como sigue:

$$g_n(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{k=1}^{n}\left[a_k \cos(kx) + b_k sen(kx)\right] \quad [5]$$

donde $a_k = \dfrac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} g(x).\cos^2(kx)\,dx$ y

$b_k = \dfrac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} g(x).sen^2(kx)\,dx$ con

$k = 0,1,2,3,...,n$

reciben el nombre de *coeficientes de Fourier*, y la expresión [5] es *la mejor aproximación de la función* g *en W.*

Conclusiones

Este informe muestra un primer acercamiento a los objetivos que se han propuesto los autores. Es evidente que el desarrollo del mismo se ha efectuado implementando la vinculación en algunos temas seleccionados para ese fin. En lo inmediato, se piensa en complementar este informe con otros temas tan significativos como lo es el de las transformaciones lineales. En una instancia posterior se pretende avanzar con lo trabajado, adicionando ejercitación motivadora y sencilla, pensada específicamente para los estudiantes. Una meta más ambiciosa a concretar, consiste en seducir a alumnos interesados en tutorías, ayudantías, ó tan sólo y nada menos que con deseos de participar del entorno académico de nuestra facultad.

Bibliografía

Apostol, T. (2005). *Calculus.Volumen I. Cálculo con funciones de una variable, con una introducción al álgebra líneal.* Buenos Aires. Argentina: Editorial Reverté, S.A.

Apostol, T. (1984). *Calculus.Volumen II. Cálculo con funciones de varias variables y álgebra lineal, con aplicaciones a las ecuaciones diferenciales y a las probabilidades.* Buenos Aires. Argentina: Editorial Reverté, S.A.

Hoffman K.,Kunze R. (1971). *Linear Algebra.* New Jersey: Prentice-Hall.

Larson, R; Edwards, B. Falvo, D. (2004). *Álgebra Lineal.* Madrid, España. Ediciones Pirámide.

* * *

9

La Importancia de la Competencia Lingüística en la Resolución de Problemas Matemáticos en la Lengua Extranjera Inglés

Claudia Viviana Latorre Ardizzone

Resumen: El propósito de este trabajo es indagar la importancia de desarrollar la competencia lingüística de los estudiantes al resolver problemas in Matemática, Física y Química en inglés enseñándoles aspectos lingüísticos clave para la interpretación y análisis textual. El método usado para obtener la información consistió en el análisis lógico y epistemológico de la bibliografía. Se encuentra que la adquisición de ciertas habilidades lingüísticas ayuda a: (i) determinar el propósito del discurso; (ii) categorizar el tipo textual en el universo del lenguaje científico-técnico y (iii) facilitar el acceso a la información de la comunidad científico-técnica del propio campo del conocimiento. Además se destaca la importancia de trabajar en un equipo multidisciplinario que opere simultáneamente para facilitar el acceso a información. Las investigaciones realizadas permitieron concluir que la práctica constante de la resolución de problemas en inglés facilita la construcción de conocimientos interdisciplinarios. Finalmente, la afirmación sobre la importancia de una práctica constante multidisciplinaria en la resolución de problemas se basa en la tarea de enseñanza – aprendizaje cotidiana y su observación a través de la experiencia.

Palabras claves: Competencia lingüística, resolución de problemas, adquisición; habilidades lingüísticas; conocimiento; multidisciplinariedad.

La resolución de problemas está en el centro de la evolución humana. Es el método que usamos para entender lo que está sucediendo en nuestro entorno, identificar lo indeseado e idear lo impensado para crear el resultado deseado. La resolución de problemas es la fuente de todas las nuevas invenciones, de la evolución social y cultural, base para la mejora continua, la comunicación y el aprendizaje así como también para las economías basadas en los mercados

propiciando en definitiva el progreso individual y colectivo… fin de toda educación.

La resolución de problemas es un medio fundamental de desarrollar el conocimiento matemático en cualquier nivel. Por esta razón, no es sólo uno de los más importantes sino el más importante al hacer matemática. La resolución de problemas proporciona al alumno el contexto para ayudarlos a darle sentido al conocimiento matemático que están aprendiendo. La resolución de problemas es acerca de solucionar situaciones problemáticas contribuyendo a la habilidad genérica de solucionar problemas en la vida cotidiana.

Una vez comprendida la importancia de la resolución de problemas, resulta necesario comprender la importancia de la comprensión textual en el contexto e ideología en la que el problema se presenta. Si nos referimos a un texto escrito, los alumnos dan un vistazo a las oraciones de un texto y tratan de identificar palabras clave que los alerta sobre la operación matemática a ser realizada. Este enfoque muestra que el proceso de pensamiento con respecto a la complejidad del texto en sí es menor. Los alumnos se aproximan al texto y tratan de resolver el problema matemático. Investigación reciente muestra que un número de componentes lingüísticos verbales no relacionados con la matemática contribuyen ampliamente a su dificultad en la interpretación.

> *Because verbal cues so often lead to default mathematical interpretation (Neshner, 1976) even small differences in phrasing in cue words can cause significant changes in performance* (Le Blanc and Weber – Russell, 1996) in Daroczy et al: 2015: p.3

Como expresa la cita, debido a que las pistas verbales tan a menudo llevan a una interpretación matemática defectuosa aún pequeñas diferencias en la construcción de las frases y en las palabras claves puede llevar a cambios significativos en el rendimiento de los alumnos.

Se ha observado que un efecto relacionado con la presentación de la información, como es la presencia de contenido irrelevante a la solución central del problema en

cuestión, esto es, la presencia de distractores numéricos o lingüísticos, puede causar índices de error aún más elevados.

> *Interestingly, an effect related to information load has been observed; the presence of content irrelevant to the core solution; i.e. , the presence of numerical or linguistic distractors results in higher error rates* (Muth,1992) in Darroczy et al: 2015: p.5

Una vez que los alumnos manejan aspectos lingüísticos necesarios para la comprensión textual, ni los distractores ni el cambio de contenido de conocido a desconocido baja su rendimiento en el análisis de la situación ya que pueden aún sin conocer el tema resolver el problema.

El proceso de comprensión textual es un proceso complejo en la lengua madre y más aún en la lengua extranjera. Una vez que los aspectos lingüísticos han sido comprendidos usando todos los sistemas de relaciones lingüísticas la comprensión resulta más sencilla.

Resolver problemas del área de Matemática, Física y Química ayuda a los estudiantes a desarrollar las habilidades de pensamiento analítico y crítico para lograr excelencia resolviendo situaciones problemáticas. En este proceso es importante seguir ciertos pasos:

Primero, es importante analizar y definir el problema. Los alumnos deben comprender lo que leen, las preguntas que se les formulan y el problema a resolver. En este sentido, deberían leer las preguntas cuidadosamente y comprenderlas completamente.

Segundo, se debe identificar la información dada y la no dada y así poder determinar lo que necesitan conocer a fin de solucionar el problema.

Tercero, se deben hacer conjeturas a partir de la formulación de preguntas relevantes al caso. Se debe enfocar la solución desde distintos caminos y analizar los pasos recorridos en cada uno de los caminos tanto los buenos como los malos.

Cuarto, se deben evaluar soluciones potenciales y determinar la respuesta volviendo a revisar y asegurándose que la solución responde a la pregunta original.

Finalmente, se debe diseñar un plan siguiendo un enfoque estructurado para solucionar el problema. Seguir el proceso de solucionar problemas ayudará a desarrollar la confianza así como la competencia tanto lingüística como profesional en la resolución de problemas.

Cuando los alumnos desarrollan, practican y perfeccionan la habilidad de un pensamiento lógico y razonado están también perfeccionando sus habilidades de resolución de problemas.

Discusión

Se ha elaborado un propio punto de vista tomando en consideración las investigaciones realizadas y la experiencia de trabajo con alumnos de Nivel Superior.

El hecho de sostener una posición firme de la relevancia que tiene para los alumnos el desarrollo de las competencias inherentes a su campo profesional así como lingüística no cierra las puertas a un futuro debate con especialistas de las áreas de incumbencia para el enriquecimiento de esta postura.

Conclusiones

La estrecha relación entre la competencia en la lengua extranjera inglés, la habilidad para resolver problemas de matemática, física y química en inglés y el rendimiento de los alumnos lleva a analizar la importancia de ayudar a los alumnos en su camino en el logro de tal habilidad para manejar aspectos lingüísticos que ayuden a la interpretación textual analítica y global.

Referencias

Darcoczy, Gabriella; Wolska, Magdalena; Meurers, Walt Detmar; Nuerk, Hans - Christoph (2015). “Word problems: a review of linguistic and numerical factors contributing to their difficulty” en *Frontiers in Psychology*. Review published: 01 April 2015.

* * *

10

Acompañamos tu Buen Rendimiento

Anahí Aracelis Obredor, Maria Cristina Vargas

Resumen: El objetivo de los alumnos durante el cursado de su carrera es obtener buenos resultados en menor tiempo posible y con el menor número de evaluaciones parciales y finales desaprobadas. Considerando Rendimiento Académico se buscó en la Facultad Regional Mendoza UTN en sus 5 especialidades de Ingeniería, los alumnos destacados para brindarles a ellos un mayor acompañamiento y apoyo desde la institución. La propuesta es invitar a participar en ámbitos universitarios como Tutorías, Laboratorios, Mentorías, Becas, Grupos de Investigación, etc. con el objetivo de lograr antecedentes para su curriculum y desarrollar algunas competencias faltantes en los egresados nuevos para el posterior desarrollo en su profesión. Se pudo evidenciar en la primera reunión el interés por participar en diferentes actividades científico-tecnológicas; se realizó un cuestionario con temas a analizar por el gabinete psico-socio-pedagógico y se invitó a organizar grupos que acompañen a alumnos con problemas sociales y pedagógicos.

Palabras clave: Rendimiento académico, pruebas objetivas, créditos, autoaprendizaje, calificación.

1. Introducción

Las instituciones educacionales tienden a preocuparse por los alumnos con problemas en su población y buscan estrategias que intenten brindar soluciones, en especial, para sujetos con bajo rendimiento académico RA. Aquí se pone el interés en el alumno con dificultades en su desempeño en la institución universitaria. Sin embargo, existen estudiantes que logran desarrollar sus capacidades casi sin intervención de mediadores (docentes, tutores, etc.), y con buenos logros en el desarrollo de su carrera universitaria, y en los tiempos fijados por la institución. Si ahora ponemos la mirada en ellos, podríamos hacer posible el reconocimiento de su autodidáctica en estos alumnos, y buscar vías para que su experiencia y opinión pueda ser encauzada a ciertas actividades académicas y/o sirva para ayudar a otros compañeros. El objetivo es brindar a los alumnos que poseen un buen rendimiento académico, según ciertas consideraciones, un mayor acompañamiento y apoyo desde la Facultad, pudiendo resaltar el esfuerzo, constancia y dedicación de estos estudiantes,

brindándoles posibilidades de participación en diferentes ámbitos universitarios como Tutorías, grupo de Laboratorios, Mentorías, Becas, Grupos de Investigación, etc. haciendo que el Sistema de Tutorías sirva de nexo de estos alumnos con sus ejecutores responsables. Actualmente hay una tendencia en investigación educativa en rever los conceptos relacionados con RA porque, hasta hoy, se consideraban los factores de rendimiento bajo la perspectiva de las calificaciones. Javier Vargas (2001) en su estudio "Factores Diferenciales del Rendimiento Académico en Educación Superior en México", plantea la importancia de analizar las causas del RA a partir de 2 factores: el promedio académico y la deserción escolar. Si el abandono de los estudios se debe al mal desempeño (y no a causas personales, familiares, etc.), entonces los factores que lo explican deben ser los mismos que explican el buen RA. En consecuencia, se ponen a prueba tanto el promedio de calificaciones como la deserción escolar, que se convierten en medidas apropiadas del RA, y que los factores que determinan ambas son los mismos, es decir que uno es el reverso del otro. Por eso este trabajo puede servir para estudiar tanto el buen o el mal rendimiento académico.

2. Marco teórico

2.1 Definición de Rendimiento Académico

El rendimiento académico hace referencia a la evaluación del conocimiento adquirido en el ámbito escolar, terciario o universitario. Un estudiante con buen rendimiento académico es aquél que obtiene calificaciones positivas en los exámenes que debe rendir a lo largo de un curso. Podríamos definir al rendimiento académico como el producto de la asimilación de programas de estudio, expresado en calificaciones dentro de una escala convencional; es el resultado cuantitativo que se obtiene en el proceso de enseñanza de conocimientos, conforme a las evaluaciones que realiza el docente mediante pruebas objetivas y otras actividades complementarias. Es una medida de las capacidades del alumno, que expresa lo que éste ha aprendido a lo largo del proceso formativo y está vinculado a la aptitud.

2.2 Tipos de Rendimiento académico

2.2.1 Individual: Es el que se manifiesta en la adquisición de conocimientos, experiencias, hábitos, destrezas, actitudes, etc. relacionadas con la institución; y permitirá al docente tomar decisiones pedagógicas. Puede ser:

-Rendimiento General (desempeño en líneas de acción educativas y hábitos culturales).

-Rendimiento específico (desempeño en la afectividad: relaciones con educadores y compañeros, relaciones con profesionales y consigo mismo)

2.2.2 Social

Es la influencia en la sociedad en que se encuentra el individuo y se consideran factores de influencia social: tiempo histórico, lugar demográfico, contexto social. El rendimiento académico RA es un insumo fundamental para evaluar la calidad y avance de los alumnos. García Ramos (1994) define la evaluación final como la última fase del proceso evaluador; es la síntesis de todos los elementos que proporciona la evaluación inicial y continua, para llegar a un juicio global que resuma el progreso que realizó el alumno durante el curso escolar. Es sumativa y permite la toma de decisiones.

El RA es un concepto multidimensional, con distintas variables y formas de medición. Las notas de calificaciones es el criterio social y legal del rendimiento de un alumno en una institución escolar y define su sistema de evaluación diferenciado, y las certificaciones académicas adquieren un valor distinto de acuerdo con los niveles, las edades, las áreas cognitivas y los profesores. La forma de obtener esas notas es a través de exámenes o pruebas de evaluación, por lo que el RA es el resultado de un proceso educativo que puede ser medido en términos cuantitativos y cualitativos y sirven para el análisis de la concreción de metas que se establecieron previamente.

Al analizar el RA es importante considerar el concepto de eficiencia terminal (grados de aprobación, reprobación, deserción, retención y transición de los alumnos). En los países en vías de desarrollo, la tasa de deserción más elevada ocurre a nivel primario y en países desarrollados a nivel secundario.

2.3 factores que inciden en el rendimiento académico

2.3.1 Factores sociológicos

Los estudios de carácter sociológico se relacionan con aspectos del nivel socioeconómico y cultural de la familia, la posición laboral del padre y/o madre y los estudios de los padres. El papel de la familia es fundamental en la formación del individuo, la personalidad del niño y ejerce una gran influencia durante su vida escolar.

- Schiefelbein y Simmons (1980) afirman que los antecedentes familiares de los alumnos son el determinante individual de mayor importancia en los resultados escolares tanto positiva como negativa.
- Celorrio (1999) sostiene que el medio en el que nace y vive el sujeto con sus factores socioeconómicos y culturales también incide directamente en él.

 Pérez (1978), (citado en Celorrio, 1999), comprobó que los hijos de padres con nivel ocupacional elevado obtienen puntuaciones más altas en los test de inteligencia, en las pruebas objetivas y en las calificaciones escolares que los hijos de los que desempeñan un nivel ocupacional más bajo.
 Molina (1984) (citado en Celorrio, 1999), encontró que los grupos de niños que fracasan pertenecen a los niveles económico y cultural más bajos.

2.3.2 Factores psicológicos
Los estudios de investigadores sobre el aspecto psicológico afirman que la relación entre inteligencia general y rendimiento global oscilan entre 0.40 y 0.80 en casi todos los trabajos. Una de las variables que mejor predicen el rendimiento final es el resultado que se obtuvo en cursos anteriores. En el rendimiento, las calificaciones son las que mejor predicen el éxito del alumno. No se ha llegado a un acuerdo sobre la predicción con relación al sexo.

Estudios sobre aspectos psicológicos afirman que la relación entre inteligencia general y rendimiento global oscila entre 0.40 y 0.80: en los trabajos de López y otros (1986), no encontraron una correlación entre la inteligencia general y el rendimiento de 0.52 en alumnos de bachillerato. Las variables que mejor predicen el rendimiento final son los resultados que el alumno obtuvo en cursos anteriores. Así lo resaltan Avia (1985); Pérez (1978); Carabaña (1979); Escudero (1984).

2.3.3 Factores pedagógicos
Las investigaciones de índole pedagógica hacen hincapié en los estudios de enseñanza y aprendizaje, la percepción del profesor, los métodos utilizados, las técnicas de estudios y estrategias de aprendizaje, la elaboración de pruebas de evaluación, los medios, los métodos y contenidos de la enseñanza. Algunas variables predictivas del rendimiento escolar son:

Variables Contextuales	A- **Variables socio-familiares** (clima educativo familiar, estructura familiar, origen social, medio sociocultural, características de la población de residencia). B- **Variables escolares** (institución escolar, profesor, alumno).
Variables personales	- Inteligencia y aptitudes, - estilos cognitivos, - sexo, - personalidad

Según Castejón y Pérez (1998), las variables más estudiadas son la inteligencia, las aptitudes, la motivación y el autoconcepto. La inteligencia es un buen predictor del aprovechamiento escolar, mientras que el factor verbal es susceptible a las influencias familiares y socioculturales. Otro grupo de factores que intervienen en el rendimiento son los que se desarrollan dentro del aula, como la empatía del alumno con su profesor y la relación con sus compañeros.

2.4 medida del rendimiento académico

Para medirlo, no sólo se debe evaluar el rendimiento del alumno sino todos los elementos que interactúan en el proceso educativo, tales como el rendimiento del profesor, de los recursos didácticos, de los planes y programas de estudio, la metodología empleada, el rendimiento de las instituciones escolares, entre otros. Las notas escolares siguen siendo el criterio social y legal del rendimiento de un alumno en el ámbito de una institución escolar. Cada una de éstas configura su sistema específico de evaluación y medición de sus resultados, así como de sus instrumentos de acuerdo a las áreas, niveles y objetivos específicos. Goldman, Geinsiger y Rabinowitz, e Ingenkamp (citados en Page, 1990) demostraron que los profesores difieren permanentemente en la asignación de calificaciones y comprobaron cómo influye la subjetividad del profesor en ellas. Thomdihe y Hagen (1996) afirman que el mundo funciona en base de la toma de decisiones y el educativo no es la excepción. Es necesario decidir si un alumno aprueba o no un curso, si se cambia o no a un profesor, si se deben modificar los contenidos de un programa, etc. El objeto de los procedimientos de medición es proporcionar la información que permita tomar esas decisiones de la manera más apropiada. García Ramos (2000) identifica tres vocablos para conocer el producto de la actividad escolar: evaluación, calificación y medida.

- La evaluación aspira a conocer y valorar los resultados de las instituciones escolares, de sus programas de enseñanza, de sus métodos, matizándola con criterios de valor; por lo tanto, para poder evaluar es necesario “medir” con un sentido objetivo, sistemático y científico, entendiendo la evaluación como un proceso continuo y permanente y un elemento a la vez de toda actividad educativa institucional.

- la calificación se utiliza para valorar la conducta de un estudiante, pues se habla comúnmente de la “calificación escolar de un alumno”, a través de la cual es posible expresar cuantitativa o cualitativamente el juicio global o específico que corresponde al desempeño de un educando.

• La medida es un concepto muy amplio. Si la calificación es resultado de un examen, podemos precisar que es un número resultante de él que nos proporciona un valor y que le da sentido a ella y por tanto a la evaluación. Para que la evaluación tenga sentido, debe abarcar todo el conjunto de factores que inciden, no sólo en el aprendizaje, sino en la educación integral de los sujetos, pero debe referirse también al conjunto de elementos que forman parte del proceso educativo que condicionan o facilitan la mejora de los educandos. Como se puede apreciar, los tres términos están íntimamente relacionados. Del resultado de su interacción podemos emitir juicios de valor surgidos del concepto evaluación: se evalúa para tomar decisiones en el contexto educativo para mejorar la enseñanza y el aprendizaje. De acuerdo con Álvaro Page y otros (1990), la medida del rendimiento obliga a preguntarse cómo se puede obtener un parámetro objetivo y fiable de todo lo que encierra el rendimiento escolar. Al evaluar a los alumnos, ¿se obtiene realmente una medida cuantitativa y/o cualitativa de lo que rinden? Por su parte, Carabaña Morales, J. (citado en Álvaro Page y otros, 1990), afirma que la búsqueda de una medida válida del RA es una empresa imposible de realizar debido a las ambivalencia, o mejor dicho, polivalencias, intrínsecas al sistema educativo. Cada nivel, e incluso cada materia y cada profesor persiguen simultáneamente varios objetivos que no se pueden maximizar al mismo tiempo.

2.5 Tipos de medida del rendimiento académico universitario

2.5.1 Pruebas objetivas

La mayoría de las instituciones de nivel superior utilizan el promedio de las calificaciones como medida del rendimiento académico del alumno y se utilizan tres tipos de promedios: aritmético, ponderado y ajustado.

A- Promedio aritmético la suma de todas las calificaciones finales dividida por el número de materias que cursó el alumno. Una de las deficiencias de este promedio es que no considera la cantidad de materias reprobadas durante la carrera, lo que otorga el mismo lugar a los alumnos que cursaron la misma materia varias veces

B- Promedio ponderado se obtiene al dividir la suma ponderada (créditos de las materias por la calificación final) entre el total de créditos cursados. De acuerdo con Young (1991), este enfoque encierra algunas deficiencias: primero, es una medida multidimensional porque engloba en una sola nota las calificaciones de varios cursos, algunos distintos entre sí; segundo, las calificaciones de distintos cursos no pueden ser equiparadas directamente sin tomar en cuenta las diferencias entre los sistemas de evaluación de los profesores.

C- Promedio ajustado se obtiene al dividir la suma ajustada (créditos por promedio de las calificaciones) entre el total de los créditos cursados por el alumno durante su carrera.

2.5.2 Crédito académico

El instrumento más ampliamente aceptado en el mundo para reconocer aprendizajes y logros es el crédito académico. En general, éste es una unidad de medida de trabajo del estudiante para obtener niveles, grados o títulos y/o para transferir sus logros a otras instituciones. El crédito es el valor que se otorga a una asignatura, actividad o unidad de aprendizaje en la que el estudiante participa con el fin de obtener las competencias, los conocimientos, habilidades y actitudes requeridos en un plan de estudios de acuerdo a ciertos elementos, como los objetivos educativos que cumple en la formación profesional, su complejidad, el tiempo que requiere para ser realizada, los medios que son necesarios, su carácter en la formación del estudiante, etc. Este sistema tiene la ventaja de premiar a los alumnos que hacen su mejor esfuerzo por acreditar la materia a la primera vez y no existe la posibilidad de presentar dicho examen en primera o segunda vuelta como se hace en algunas universidades. En términos cuantitativos la calificación adquiere un significado universal, pues son expresiones de juicios de valor que resumen y comunican el proceso de evaluación de los aprendizajes y que tienen importantes consecuencias psicológicas y sociales.

De acuerdo a cada nivel escolar, se consideran las siguientes calificaciones: excelente, sobresaliente, distinguido, bueno, suficiente, deficiente y muy deficiente. Muchos alumnos no aplican estrategias diversas de aprendizaje porque simplemente las desconocen en razón de que nadie se las ha enseñado, de tal forma que cuando se enfrentan a una tarea nueva, el método al que recurren es el que intuitivamente ya han utilizado. El enfoque centrado en el aprendiz estratégico conduce a poner el acento en el estudio de las estrategias de aprendizaje de los estudiantes universitarios. Para tal propósito, se han utilizado diferentes instrumentos, entre los que se cuenta la Escala de Estrategias de Aprendizaje ACRA-Abreviada para alumnos universitarios (de la Fuente Arias & Justicia Justicia, 2003), La Escala ACRA se llama Abreviada a partir de su elaboración respecto de la original (la Escala de Estrategias de Aprendizaje ACRA, Román y Gallego, 1994), destinada a alumnos secundarios. En este caso comporta una reducción de la cantidad de ítems y su adecuación a la población universitaria, a partir de los estudios factoriales realizados. La Escala ACRA-Abreviada es un instrumento de autoinforme, publicada en castellano y fundada en los principios del procesamiento de

la información de la teoría cognitiva. Consta de 44 ítems, cada uno de los cuales enuncia una estrategia de aprendizaje pasible de ser utilizada por alumnos universitarios. Se responde de acuerdo con una escala Likert de 4 opciones, A, B, C y D (de las menos utilizadas a las más utilizadas). El conjunto total de ítems ha sido seleccionado en función de tres dimensiones y trece factores que intervienen en la adquisición de la información, la codificación, la recuperación y el apoyo. Consta de 44 ítems, cada uno de los cuales enuncia una estrategia de aprendizaje pasible de ser utilizada por alumnos universitarios. Se responde de acuerdo con una escala Likert de 4 opciones, A, B, C y D (de las menos utilizadas a las más utilizadas). El conjunto total de ítems ha sido seleccionado en función de tres dimensiones y trece factores que intervienen en la adquisición de la información, la codificación, la recuperación y el apoyo. La Dimensión I comprende 25 ítems, destinados a indagar las estrategias cognitivas y metacognitivas del aprendizaje. Es la dimensión nuclear referida a dicho proceso. En su interior se han discriminado seis factores que dan cuenta de la conciencia que tiene el alumno universitario acerca de cómo aprende. Estos factores se refieren a la selección y organización, subrayado, conciencia de la funcionalidad de las estrategias, estrategias de elaboración, de planificación y control de la respuesta en situación de evaluación, repetición y relectura. La Dimensión II incluye 14 ítems, que examinan las estrategias de apoyo al aprendizaje. Los factores que conforman esta dimensión son cinco y aluden a variables de índole motivacional y afectiva, tales como motivación intrínseca, control de la ansiedad, condiciones de no distracción, necesidad de apoyo social, horario y plan de trabajo. La Dimensión III consta de 5 ítems, que indagan los hábitos de estudio. Comprende dos factores: los hábitos de estudio y la comprensión.

2.6 Predictores del rendimiento académico

En numerosos estudios acerca de la validez predictiva de las distintas pruebas de admisión se ha observado una correlación positiva con el rendimiento posterior de los alumnos, lo cual lo señala como uno de los mejores predictores del futuro RA. Entre tales investigaciones se encuentran las de Wong (1971), Aguirre de Carcer (1984), Espino (1987), Cubero (1988) y Sigal (1992). Muchas universidades han intentado, mediante la incorporación de nuevos indicadores, mejorar año tras año el proceso de selección de candidatos. Se ha encontrado que la percepción de la habilidad y las expectativas están correlacionadas positivamente y que ambas predicen las calificaciones de exámenes estandarizados (Eccles, 1983; Fennema& Sher-

man, 1978). Además, la percepción es un predictor significativo del esfuerzo y persistencia del alumno; no obstante, aún no está claro si los estudiantes que valoran más la materia persisten durante más tiempo o utilizan diferentes estrategias de aprendizaje. En la Universidad de Zaragoza se descubrió que el mejor predictor de los resultados en el primer año es el rendimiento previo, medido a través de notas o pruebas objetivas. Para Escudero (1981), podría ser el perfil de entrada coherentemente articulado con los perfiles académicos y las exigencias profesionales propias de cada carrera. Rodríguez (1985), sostiene que las calificaciones de enseñanza media son buenos predictores del rendimiento en la universidad, pues en la mayoría de los casos constituyen el antecedente que más aporta a su explicación. Reparaz (1986), estudió una serie de variables como posibles predictores del rendimiento universitario, entre las cuales incluyó el rendimiento previo, aptitudes intelectuales, rasgos de personalidad e interés vocacional. La investigación concluye que existen correlaciones significativas entre rendimientos previos y finales, al igual que las aptitudes intelectuales y los rasgos de personalidad, mientras que los intereses vocacionales descienden en correlación con el rendimiento. Martínez-Otero (1997), identifica seis factores que influyen en el RA durante la enseñanza secundaria: inteligencia, personalidad, hábitos de estudio, intereses profesionales, clima escolar y ambiente familiar. Según Astin (citado en Vargas, 2002), el desempeño del egresado es un fuerte indicador de la calidad de las instituciones educativas, motivo por el cual, se espera que un alumno que finaliza con las mejores calificaciones tenga un buen desempeño profesional. El rendimiento escolar no sólo está relacionado con aspectos del alumno, sino que existen otros factores ligados a las condiciones de la institución, tales como recursos técnicos, materiales didácticos, docentes, modelo de enseñanza-aprendizaje, gestión e instalaciones. Una universidad de prestigio es aquella que dispone de buenos programas, instalaciones, buena gestión, excelentes procesos de enseñanza-aprendizaje, docentes de primera calidad y admite sólo a los mejores estudiantes. Por último, es importante destacar que un estudio de la Universidad de Salamanca concluye que el bajo rendimiento del alumno se debe a la deficiente formación en los niveles anteriores y al excesivo número de asignaturas. Según se desprende del estudio, entre las causas atribuibles al propio estudiante figuran la falta de autoexigencia y responsabilidad, el deficiente aprovechamiento de las horas de tutoría y el insuficiente dominio de las técnicas de estudio. Los docentes también atribuyen este bajo rendimiento a la falta de esfuerzo para centrarse en el estudio, la escasa motivación y la falta de orientación al elegir la titulación.

Por otra parte, entre las causas debidas a los profesores el informe subraya la baja estimulación para dedicarse a la tarea docente, la falta de estrategias de motivación y la escasa comunicación entre docente y alumno. El informe señala algunos aspectos negativos, como la escasa preparación previa de los alumnos, la deficiente coordinación entre los programas, la reducida posibilidad de promoción personal que ofrece la Universidad y la escasa coherencia académica de los planes de estudio. Los investigadores sugieren una serie de iniciativas para mejorar el rendimiento de los alumnos con base en los tres tipos de variables: institucionales, alumnado y profesorado. Durante los últimos veinticinco años se han desarrollado estudios, en Gran Bretaña, Suecia y Australia que han dado lugar a un área de investigación denominada SAL (Student Approaches to Learning). Varias etiquetas han sido utilizadas por los autores: aprendizaje significativo y memorístico (Ausubel,1986) procesamiento genérico y reproductivo (Wittrock, 1974), aprendizaje reproductivo y transformacional (Thomas &Bain, 1984), enfoque profundo, superficial y estratégico (Entwistle, 1988), enfoque profundo, superficial y de alto rendimiento (Biggs,1987 etc. A partir de 1976, las aportaciones de (Marton&Saljö, 1976) inician una línea específicade investigación comprobando en qué aspectos se centraban los estudiantes al leer artículos de investigación: enfoque profundo, para referirse a estudiantes que mostraban interés en el significado de lo que aprendían, y enfoque superficial, para referirse a la concepción reproductiva del aprendizaje de los estudiantes. De las investigaciones realizadas hasta el momento parece que se puede concluir que existen dos formas básicas de aproximación al aprendizaje, como procesos variables según la percepción que el estudiante tiene de la tarea académica y que se ven influidos por las características personales de los estudiantes, incluso pueden inclinarse hacia un enfoque pero pueden mostrar otra predilección dependiendo del contexto de la enseñanza por coherencia entre motivos de aprendizaje y estrategias de aprendizaje, (Hernández Pina, 1993; Hernández Pina, 2001; Hernández Pina, 2002; Hernández Pina, García Sanz, Martínez Clares, Hervás Avilés, & Marín García, 2002; Marín García, 2002; Buendía & Olmedo, 2002).

1- El enfoque superficial se basa en una motivación extrínseca de los estudiantes, un esfuerzo mínimo para evitar fracasar sin esforzarse demasiado; estudiar sólo lo esencial y reproducir de memoria, es un estudiante que se preocupa del posible fracaso a la vez que se lamentará del tiempo que emplea en su trabajo (Hernández Pina & et alt., 2001).

2- El enfoque profundo parte de un interés intrínseco por las materias: Las estrategias sirven a ese interés, el estudiante tratará de comprender al máximo los contenidos conectando las ideas nuevas con conocimientos previos.
3- El enfoque de alto rendimiento, está dejando de considerarse en los últimos trabajos, según manifiesta el propio Biggs (Biggs, 1999) agrupa algunos aspectos de los enfoques superficial y el profundo, define a una minoría de estudiantes que se caracterizan por aspirar a las calificaciones máximas como objetivo primero.
Desde la intención del estudiante el enfoque profundo se asocia a la intención de comprender mientras que el superficial a la de memorizar (Biggs,1987); (Entwistle, 1987); (Richardson, 1994); (Marton et al., 1976); (Kember, 1996) etc. Bajo esta perspectiva, la diferencia entre enfoque profundo se hará más nítida e intensa en relación a dicha intención del estudiante, no como posiciones opuestas sino como dos extremos de un continuo, (Kember, 1996), (Kember, 2000), ha llegado a estas conclusiones en los trabajos realizados por este autor con estudiantes de Hong Kong, para hablar de un tercer enfoque, narrowapproach o enfoque equilibrado, que se caracteriza por la doble intención de comprender y memorizar, estudiando paso a paso, primero comprendiendo y después memorizando. Otros trabajos previos (Watkins, 1994); (Tang,1993); (Marton, Dall'Alba, &Tse, 1992); (Hess& Azuma, 1991); (Kember&Gow, 1990) también analizaron la combinación entre comprensión y memoria. Para analizar estos aprendizajes se han diseñado herramientas que han tenido una amplia difusión mundial, los más utilizados son el Approaches to Study Inventory (ASI) de Entwistle y Ramsden (1983) o el StudyProcessQuestionnaire (SPQ) de Biggs(1987) y el informe StudentApproaches to Learning(OCDE, 2003).

2.7 modelos del rendimiento académico

Se clasifican en :

2.7.1 Modelos tradicionales

- Modelo Centra y Potter (1980)
- Modelo de Biniaminov y Glasman (1981)
- Modelo de Fullana (1996)
- Estudio de DeBerard, Spielmans, Julka, Deana L. (2004)
- Estudio de Pita y Corengia (2005)
- Estudios de Vanessa Marsh (2007)
- Estudio de Naderi, Abdullah, Aizan, Sharir, Kumar (2009)
- Estudio de Juan Tonconi Quispe (2009)
- Estudio de Porcel, Dapozo y López (2010)

2.7.2 MODELOS ESTRUCTURALES

- Modelo de Parkerson, Lomas, Schiller y Walberg (1983)

- Modelo de rendimiento en ciencias de González (1989)
- Modelo de rendimiento académico de Álvaro Page (1990)
- Modelo de Castejón Costa y Pérez Sánchez (1998)
- Modelo de Abbot y Joireman´s (2001)
- Modelo de French, Immekus y Oakes (2003)
- Modelo de Kember y Leung (2005)
- Modelo de Ángeles Blanco (2006)
- Modelo de Carlos E. Núñez Rincón (2007)

3 objetivos del proyecto

- Reconocer públicamente el esfuerzo realizado por los alumnos que poseen un rendimiento académico de excelencia
- Informar de las diversas actividades académicas de las cuales pueden formar parte:
  - Tutorías universitarias
  - Becas
  - Programas de investigación
  - Grupos de estudio
  - Proyecto “Mentorías”
- Captar los diferentes aspectos, herramientas, estrategias personales, empleadas para obtener dicho rendimiento, cuyo cúmulo de información se utilizará como diagnóstico curricular en la Facultad.

4 Metodología

En una primera fase se busca información, solicitando, mediante nota previa a Sección alumnos un listado de alumnos de las cinco carreras que reunían las condiciones sugeridas. Una vez obtenida dicha lista, se realizó una reunión donde se convocó a los alumnos que figuraban en ella, y se invitó a la Secretaria Académica de la Regional y directores de los Departamentos de carrera. La nómina abarcaba a 44 alumnos de Ingeniería Civil, Electromecánica, Química y en Sistema de Información. La carrera de Electrónica no registraba ningún alumno. En la reunión estuvieron presentes la Coordinadora General de Tutorías y la Coordinadora Psicopedagógica, la psicopedagoga y la psicóloga a cargo del proyecto; la Secretaria Académica y los directores de Ingeniería Química, Ing. en Sistemas de Información, Ingeniería Civil y Electromecánica. Asistieron 27 alumnos. Se realizaron encuestas y propuestas a los alumnos presentes. Se trabajó sobre el estudio de Juan Tonconi Quispe (2009),en el cual se busca una relación entre el RA de los estudiantes y la decisión de continuar o no los estudios. Las variables que se consideraron fueron: créditos matriculados, horas diarias dedicadas

al estudio, asistencias a clases, número de cursos aprobados, ingreso económico mensual del estudiante, características de la familia, nivel de educación secundario y superior del padre y madre, horas dedicadas al estudio, que tienen un efecto directo en el nivel de RA del alumno.

4.1 Población o muestra

Se consideraron alumnos de tercero, cuarto y quinto año de cada carrera de Ingeniería que reunían los siguientes criterios de selección:

- Permanecer en la cohorte en la cual iniciaron el cursado
- Poseer la mitad más uno de Materias aprobadas del año anterior
- No contar con Asignaturas desaprobadas
- No haber tenido que recursar materias.

4.2 Variables

A continuación se presentan las variables que se consideraron en el estudio, agrupadas en tres bloques según hagan referencia a factores contextuales, personales de los alumnos y de rendimiento.

4.2.1 Variables de clasificación

Estas variables ayudarán a describir y caracterizar la población estudiada, y explicar algunas de las asociaciones detectadas y/o controlar estadísticamente algunas fuentes de variación de las variables de rendimiento.

a) Variables personales y socio-familiares

- Edad del alumno
- Beca del alumno
- Edad del padre
- Edad de la madre
- nivel cultural del padre
- nivel cultural de la madre
- Nivel socioeconómico de los padres
- Sexo
- Estructura de la personalidad del alumno
- Orientación vocacional
- nivel de capacidad intelectual

b) Factores académicos contextuales

- Tipo de bachillerato/preparatoria
- Hábitos de estudios adquiridos en nivel medio
- Competencias desarrolladas en nivel medio

4.2.2 Variables de rendimiento

Se analizará el RA en diversos momentos y mediante distintos indicadores. En el marco de esta investigación los indicadores se pueden agrupar en los siguientes apartados:

a) Rendimiento previo

- Nota del RA del secundario.
- Puntuación de la Prueba de TAIU
- Puntuación de la Prueba de Física
- Puntuación de la Prueba de Matemáticas

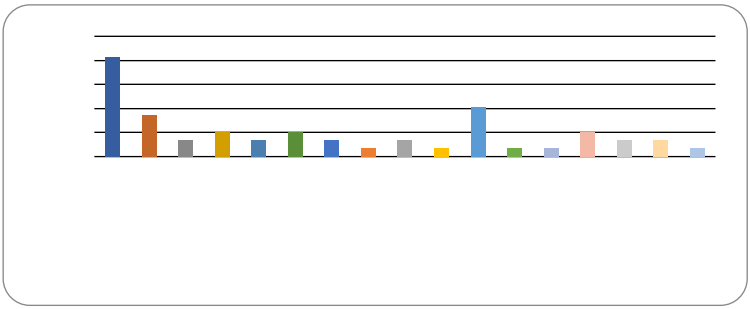
b) Rendimiento durante la carrera universitaria

- Nota promedio al 3er. semestre
- Número de materias reprobadas al 3er. semestre
- Nota promedio al 5to. semestre
- Número de materias reprobadas al 5to. semestre
- Número de materias reprobadas al 9no. semestre
- Semestres cursados de más

5 Algunas conclusiones como resultados de las encuestas

5.1 Estrategias de Estudio

Tabla N° 1 :Descripción de las Estrategias de Estudio implementadas por los alumnos de UTN – FRM con buen rendimiento académico

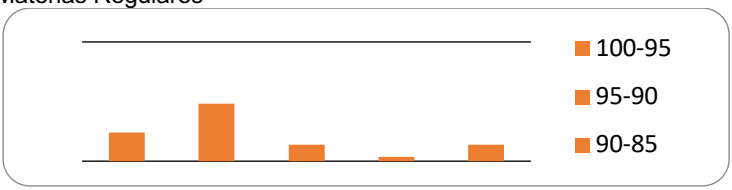


Vemos que los porcentajes mayores están en :

- Organización de los estudios,
- dedicación,
- interés y motivación
- resumen

5.2 Materias aprobadas

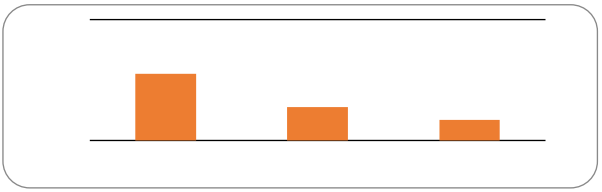
Tabla N° 2: Porcentaje de Materias aprobadas en relación a las Materias Regulares



En estos alumnos hay alrededor de un 20% que cursa y aprueba el total de materias por año en el tiempo correspondiente y el 60% siguiente en un periodo algo mayor pero no muy largo. Sólo el 20% demora un poco más sin llegar a retrasos largos.

5.3 Nivel académico familiar

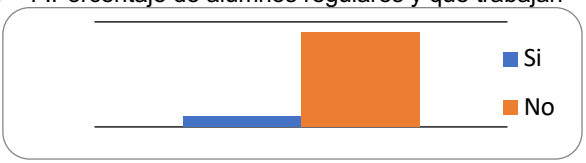
Tabla N° 3: Porcentaje de nivel académico de los padres



La variable estudios de los padres se clasificó en tres categorías: secundario terciario y universitario. Es importante resaltar que, en promedio, casi 80% de los padres estudiaron en nivel superior (terciario +universitario)y podría derivar que un padre y una madre con estos niveles de educación, pueden darle mayor valor y poner más atención a los estudios del hijo.

5.4 Estudio y trabajo

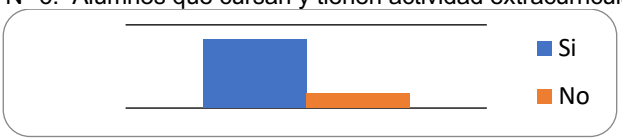
Tabla N° 4 :Porcentaje de alumnos regulares y que trabajan



Cerca del 90% son alumnos que no trabajan y ,por eso, dedican gran parte de su tiempo al estudio.

5.5 Otras actividades

Tabla N° 6: Alumnos que cursan y tienen actividad extracurricular.



Los resultados realizados sobre la posibilidad de actividad extracurricular en estos alumnos probaron la conclusión de que dichas actividades se relacionan positivamente con la asimilación en las cátedras. Se observa un 80% de alumnos que desarrollan otro tipo de actividad (deporte, música, baile, Estos resultados concuerdan con otras investigaciones que demostraron la relación entre las actividades extracurriculares con la obtención de mejores calificaciones,

mayor aprovechamiento académico, acoplamiento superior y mejores resultados a lo largo de la carrera.

Propuesta a seguir

Durante el 2018 se continúa con una nueva convocatoria para realizar el seguimiento de los alumnos que participaron en el Proyecto y para concretar los ofrecimientos de los distintos Departamentos (Becas, Mentorías, etc.).

Bibliografía

Castejón, J. L. y Pérez Sánchez, A. M. (1998) Un modelo Causal-Explicativo sobre la influencia de las variables psicosociales en el rendimiento académico, Revista Bordón. Sociedad Española de Pedagogía. Madrid, España.

Celorrio, R. (1999) Factores de influencia en el rendimiento educativo, Revista de Ciencias de la Educación, núm. 177, pp. 1-33

García Ramos, J. M. (1994). Bases pedagógicas de la evaluación. Guía práctica para educadores. Síntesis, Madrid

Page, Álvaro. (1990).Hacia un modelo causal del rendimiento académico. Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia, CIDE, Madrid, España

Guzmán Brito, M. P. (2012) Modelos predictivos y explicativos del rendimiento académico universitario. Tesis doctoral Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Educación, Departamento de Métodos de Investigación y diagnóstico en educación

Garbanzo Vargas, Guiselle María. (1997) Factores asociados al rendimiento académico en estudiantes universitarios, una reflexión desde la calidad de la educación superior pública. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

Vazquez, Claudia; Cavallo, Marcela; Aparicio, Silvia; Muñoz, Beatriz; Robson, Cynthia; Secreto, Florencia ySepliarsky, Patricia (2012). Rendimiento académico y variables de impacto. Una aproximación a resultados de investigaciones en el nivel universitario. Trabajo presentado en las XXXIII Jornadas Universitarias de Contabilidad – Facultad de Ciencias Económicas – Universidad Nacional de Tucumán.

* * *

2

Aplicaciones e Investigaciones en Ciencia y Tecnología

11

Visualización Gráfica en Estrategias de Modelado Predictivo en Configuraciones Causa–efecto

Ricardo M. Césari, José Balacco, Matilde I. Césari,

Valeria Espartaro, Edgardo René Sparacino,

Juan Martín Wiens

Resumen: La Visualización Gráfica en estrategias de modelado predictivo es una técnica estadística multivariante basada en la regresión polinomial, primordial para la investigación en las ciencias humanas, en particular, disciplinas de sensometría, marketing, psicología y sociología; y tiene un amplio alcance potencial para su aplicación especialmente en Ingeniería, cuyo propósito es relacionar información sobre configuraciones causa y efectos, bajo el supuesto de un modelado simple. El propósito de este trabajo es plantear esta metodología para la generación de mapas de niveles de intensidad de campos electromagnéticos. La misma dibuja líneas de contorno y superficies de acuerdo a mediciones de radiaciones no ionizantes, predichas por regresión de mínimos cuadrados parciales PLS, en un plano factorial, para obtener las correspondientes frecuencias impulsoras de las dosis de inmisión en cada sitio localizado.

Palabras claves: Modelado predictivo, regresión PLS, visualización gráfica, configuración causa / efecto.

1. Introducción

1.1. La Visualización Gráfica

El procedimiento se basa en relacionar datos *"causales"*, con "datos de "*respuestas"*, usando un modelo de regresión predictiva, generalmente regresión por mínimos cuadrados parciales PLS. Aquí se usa "*causales* "como nombre genérico de cualquier tipo de consideraciones que indique una relación observacional de *dominancia* sobre otros conceptos definidos

como "*efectos"* y que se puedan modelar con la regresión predictiva, Martens et Al (2007).

La visualización gráfica de regresiones predictivas se encuentra entre los modelos más utilizados en el área de Sensometría y son métodos de cartografiados de preferencias a través de modelados basadas en la regresión polinomial (éstos han sido adaptados para nuestra presentación).

La principal ventaja de estas técnicas es que resultan fáciles de usar e interpretar para obtener conocimiento válido y por lo tanto, también de brindar información útil a profesionales no estadísticos, van Kleef et AL (2006). Los datos causales son *tratados como variables independientes (matriz **X**), mientras que los datos de los "efectos o respuestas", son considerados como variables dependientes (matriz **Y**);* que tratados simultáneamente proporcionan puntajes y cargas factoriales interpretadas con *diagramas de dispersión*, McEwan (1996).

La metodología se origina en 1972, cuando, en sensometría de los alimentos, Carroll, J. aplicó una *regresión polinómica* en las coordenadas de un producto, derivadas de un método de reducción de dimensiones llamado mapeo de preferencias. Cada cluster resultado, *es* modelado y validado para que se ajuste a un modelo de regresión *cuadrático*.

Esta es la primera técnica que proporciona una conexión entre datos *hedónicos o de efectos,* con datos *descriptivos o causales,* Greenhoff et Al (1994). Debido a sus propiedades atractivas, los modelos regresivos predictivos se utilizan para identificar los *impulsores causales* de las preferencias en sensometría, (Michon, C. et Al (2010); Sinesio et al (2010); Endrizzi, et Al (2009); Felberg, et Al (2010), Greenhoff y MacFie 1994.

Así, la regresión predictiva multivariada, es una metodología importante y utilizada en este trabajo para modelar, analizar y comprender las causas que ocurren en los niveles de *inmisión* electromagnética y su relación con los efectos producidos por la *emisión de* fuentes radioeléctricas. Según lo expresado por Haenlein, en comparación con los enfoques basados en las

técnicas de primera generación, tales como análisis de regresión múltiple, análisis discriminante, regresión logística, análisis de varianza y análisis de factor o clustering, que pertenecen al conjunto básico de instrumentos estadísticos que puede utilizarse para identificar o confirmar hipótesis teóricas basadas en el análisis de datos empíricos, pero que analizan sólo una capa de vínculos entre variables independientes y dependientes al mismo tiempo; los modelos de regresión de mínimos cuadrados parciales PLS, como técnicas de segunda generación, permiten el modelado de las relaciones entre múltiples construcciones independientes y dependientes, simultáneamente, Gefen Al (2000).

Por lo tanto, ya no se diferencia entre variables dependientes e independientes; pero si, se distingue entre *variables latentes exógenas y endógenas*, siendo las primeras las variables que no son explicadas por el modelo postulado (es decir, *actúan* siempre como variables independientes) y las últimas, son variables que se explican por las relaciones contenidas en el modelo, Diamantopoulos et Al (2001).

El método utiliza la regresión por mínimos cuadrados parciales PLS, para una reducción de dimensiones del conjunto de variables explicativas **X**. Por muchos años se ha recurrido al método de componentes principales ACP, con la finalidad de crear un nuevo conjunto de variables como combinación lineal de las originales, eliminando la multicolinealidad, dado que en este tipo de análisis se aplica únicamente sobre la variable independiente y no hay garantía de que los componentes principales sean también pertinentes para explicar la variable dependiente, Cordero L, et Al (2001).

Como respuesta a esta condición, la regresión PLS, identifica los componentes principales de la variable independiente **X** que también sean los más adecuados para explicar la variable dependiente **Y**. La regresión PLS intenta obtener *variables latentes* de manera que contengan la mayor parte de la variación de las variables independientes observadas, que también puedan usarse para modelar la variable dependiente.

El modelo busca específicamente predecir variables dependientes, por lo que, en opinión de diversos autores, resulta de especial utilidad para propósitos de un análisis *causal predictivo* en situaciones de alta complejidad con poco desarrollo teórico; a diferencia de la regresión por componentes principales, que fue desarrollado únicamente para la reducción de dimensiones de la variable independiente, de Mateos A. (2011), en el texto de Cordero L, et Al (2001).

Dado las dos matrices de datos (en forma de tabla), llamadas **X** e **Y**, la idea básica es relacionar las puntuaciones de las matrices **t** (resumiendo X) y las matrices Y, con una función polinomial cuadrática PLS, Wold, et Al (1989).

Los métodos de estudios más utilizados en el área de Sensometría, son los métodos de cartografiado de *preferencias lineales.* La principal ventaja de estas técnicas es que son fáciles de usar e interpretar y por lo tanto, también de brindar información útil a los profesionales no estadísticos, McEwan, J. (1996).); van Kleef, et Al (2006), Crochemore, et Al (2004); Bassereau, et Al (1995); Duchamp, R. (1999).

1. 2. Proyección a Estructuras Latentes de las radiaciones no ionizantes

Esta es la característica básica para estudios en la Ingeniería, donde su propósito es relacionar una información *global* (mediciones u observaciones), sobre una cantidad de *objetos* con una configuración descriptiva. Aquí se usa *inmisión* como un nombre genérico de cualquier tipo de observaciones globales, que indiquen una relación de dominancia condicional (fuente de *emisión),* Höskuldsson, A. (1992).

El método extrae factores de variabilidad latentes $\mathbf{t}_1$ y $\mathbf{t}_2$ mediante el análisis de componentes principales ACP, que son funciones de las variables originales causales. La matriz **Y** se modela con la matriz de la variable latente **T.** Esta relación entre **X** e **Y** es una regresión lineal polinómica entre $\mathbf{t}_1$ y $\mathbf{t}_2$, que son las cargas de la variable latente y las puntuaciones medias de la matriz **Y**, Greenhoff, et Al (1994).

En nuestro estudio los datos se componen de dos subconjuntos de mediciones (Fig. 1), según el tipo de equipo que se use para medir las radiaciones de radiofrecuencias y se clasifican en mediciones de *inmisión y emisión*. La primera, corresponde a la intensidad de campo total registrado en un sitio P_i localizado, debido a todas las fuentes tratadas simultáneamente, sin discriminar su origen ni característica y dentro de un margen amplio de frecuencias; y la segunda a la originada por fuentes emisoras las cuales operan a una frecuencia específica.

En esta presentación, sólo se realiza un análisis de las radiaciones no ionizantes tomando algunos lugares de mediciones realizadas en el 6º piso del Edificio Hospital Central de Mendoza, para la presentación del método propuesto.

Existen varias técnicas para analizar los niveles y varían en la forma en que estos dos tipos de conjuntos de datos estén relacionados. Se mostrará cómo analizar las predicciones con regresión por mínimos cuadrados parciales PLS y su visualización gráfica mediante "biplot".

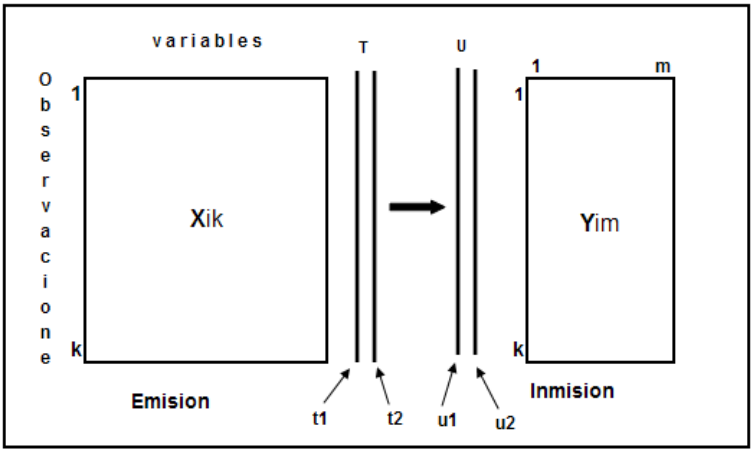


Fig. 1. Conjunto de datos de inmisión Y_{im} y emisión X_{ik} de radiaciones no ionizantes medidos en sitios localizados geográficamente. Fuente elaboración propia.

Esta técnica ofrece ventajas sobre otras, en la obtención de las causas *impulsoras* de las inmisiones**,** aparentemente debido a que el espacio de los sitios localizados para las mediciones se establecen en el plano factorial, al menos con parte de la información de las emisiones de mayores incidencias. Los perfiles óptimos y las trayectorias de los niveles, sugiere que la técnica es exitosa en las disciplinas de sensometría y válida también, como cartografía para los niveles de radiación de radiofrecuencias.

2. Materiales y Métodos.

2.1. Aplicación a mediciones de radiaciones electromagnéticas

La medición de *inmisión* es un término que hace referencia al caso de estar en un ambiente con varias señales de fuentes de radiación que operan en diferentes frecuencias, con distintas potencias y de las cuales llegan aportes electromagnéticos al punto de interés; pero que, para la definición de sus niveles no se tiene conocimiento alguno sobre datos de operación de dichas fuentes. Las mediciones de *emisión, por otro lado, son las* realizadas para una sola fuente de la cual se conocen datos como la frecuencia de operación y tipo de servicio. Este tipo de medición solo se aplica para una única fuente y se configura el equipo de medición en el ancho de banda de la frecuencia del servicio que brinda.

Los Organismos de control radioeléctrico, Nacional e Internacionales, sugieren usar la medida "i*nmisión"* para la *inspección de riesgos precautorios*, ya que las personas se encuentran expuestas a muchas fuentes de radiación simultánea. La suma de las inmisiones en un intervalo de tiempo da la *dosis total de inmisión*. Entonces, la información de inmisión será usada en todos los puntos localizados de interés, medidos.

Una suposición inicial para este tipo de análisis, es que todas las mediciones en todos los sitios localizados, se comportan de la misma manera y están adecuadamente representados por los datos promediados. Cuando se elige realizar un

estudio gráfico, debe fijarse cómo tratar los datos. Si se está interesado en el estudio de los niveles de radiación, entonces podrá ser suficiente promediar los valores de inmisión y presentar los baricentros en clústeres, para la asignación de los mismos y la asignación de los niveles de radiación, considerando que la media es el valor más probable.

El principio del método es hacer regresar los datos de inmisión (efectos), contra las coordenadas de los atributos de las fuentes de emisión (causales), obtenidos a partir de un análisis multivariado de reducción de dimensión (las dos primeras componentes de un análisis factorial), procedimiento de acuerdo al estudio sensorial propuesto por Greenhoff, K., et Al, (1994).

En esta presentación los modelos regresivos predictivos se utilizan para encontrar *la mejor causa en la distribución de la dosis promedio de inmisión*, relacionadas a las fuentes de emisión; y como método para la optimización de una visualización gráfica de las causas y efectos de estas radiaciones electromagnéticas.

El enfoque de marco único para el análisis y realización de la regresión múltiple, con datos de puntuaciones promedios en las agrupaciones realizadas (clústeres y baricentros) de las mediciones de inmisión; se realiza contra las coordenadas factoriales de datos descriptivos de mediciones de emisión, teniendo en cuenta la metodología presentada por Tenenhaus et al. (2005). Los dos primeros componentes se eligen para mostrar los resultados, Laure Nokels et Al (2010); y con el fin de eliminar parte de la heterogeneidad, las mediciones se agrupan mediante clustering usando la distancia euclidiana y el método de Ward. *Se* considera para iniciar el estudio, *que las variables causales de la inmisión dependen de las características de las fuentes de emisión; y que los efectos producidos por la emisión, a su vez, son impulsores de los niveles medios de inmisión*. Entonces, se puede construir el *Diagrama de flecha* que se muestra en la Fig.2., propuesta genérica de, Olague de la Cruz, J. T. (2015). El enfoque PLS es

apropiado para estudiar este tipo de modelo, presentado en los estudios de Herman Wold y otros.

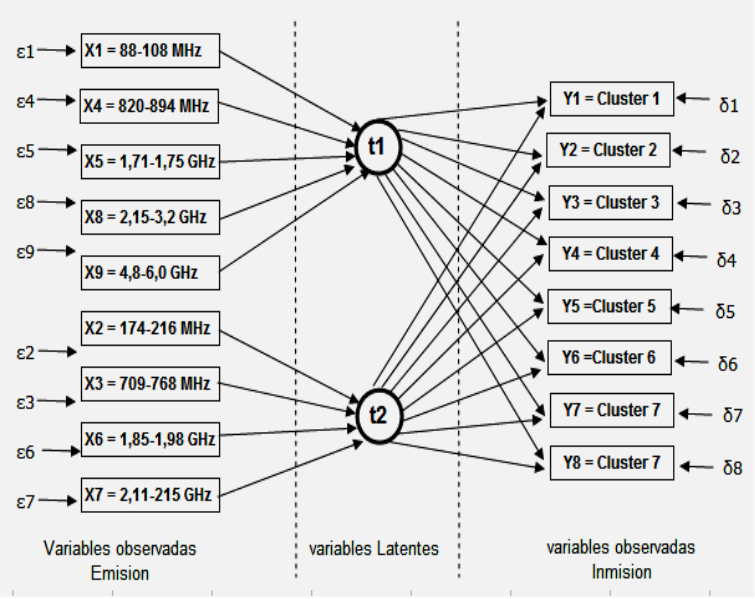


Fig. 2 Expresión gráfica (*path diagram*), de la relación causa (emisión) y efecto (inmisión). Fuente elaboración propia

En nuestro ejemplo, presentamos solo diez puntos localizados de mediciones y usamos en la regresión PLS, el enfoque cuadrático, para estudiar el modelo causal que se muestra en la Fig.2. En este diagrama de flecha, suponemos que cada bloque de variables manifiestas observables, se resumen por dos componentes de la variable latente no observable, $\mathbf{t_1}$ y t_2. Como resultado del diagrama se establece la ecuación lineal cuadrática $y_n=f(t_1,t_2)$ que define las relaciones entre las variables latentes (las dos primeras componentes) $\mathbf{t_1}$, $\mathbf{t_2}$ y las observadas **X** e **Y**, a través de:

$$Cuadratico: y_n = a + b_1 \cdot t_1 + b_2 \cdot t_2 + c_1 \cdot t_1^2 + c_2 \cdot t_2^2 + d \cdot (t_1 \cdot t_2) + \delta_n$$

Donde y_n es la n-ésima columna de Y; t_1 y t_2 son las dos primeras columnas de la matriz T (componentes principales o

variables latentes del análisis factorial) y δ_n es un vector residual. Los parámetros a, b_1, b_2, c, c_1, c_2 y d se estiman por la regresión de mínimos cuadrados parciales, a partir de los datos disponibles, mediante una combinación lineal de las variables en X tal que la varianza sea lo más grande posible, Verdum, (2006).

Esta estrategia tiende a establecer componentes de PLS dominados por los términos productos cuadrado y transversal, porque, por un lado, estos últimos términos son más numerosos, y por otro lado, sus varianzas pueden ser mucho mayores que las variaciones de las variables X originales, Höskuldsson (1992).

Por lo tanto, se tiene una configuración de regresión típica donde los datos de Inmisión (Bloque Y) se puede modelar como función de los datos de emisión (bloque X), eficientemente, Coombs y Avrunin (1977); Heiser et Al (1981).

La técnica requiere el tratamiento previo de los datos para identificar, mediante clustering, segmentos homogéneos de las mediciones. Los resultados se muestran generalmente en forma gráfica con el fin de evaluar visualmente la relación entre el espacio de *inmisión* y los patrones de radiación de *emisión* influyentes en la misma, por las fuentes (tipo, intensidad, frecuencia).

Cabe señalar que en la regresión del modelo cuadrático con PLS, las variables originales explicativas no son tratadas directamente, sino a través de las puntuaciones de las variables latentes (componentes t_1 y t_2), según, Clementi, et Al (1989).

Resultados

La regresión PLS al extraer los factores que explican la variabilidad en las radiaciones de inmisión en función de la variabilidad en los datos de emisión, simultáneamente, los resultados se representan en un mapa factorial o biplot, mostrado en la fig. 3.

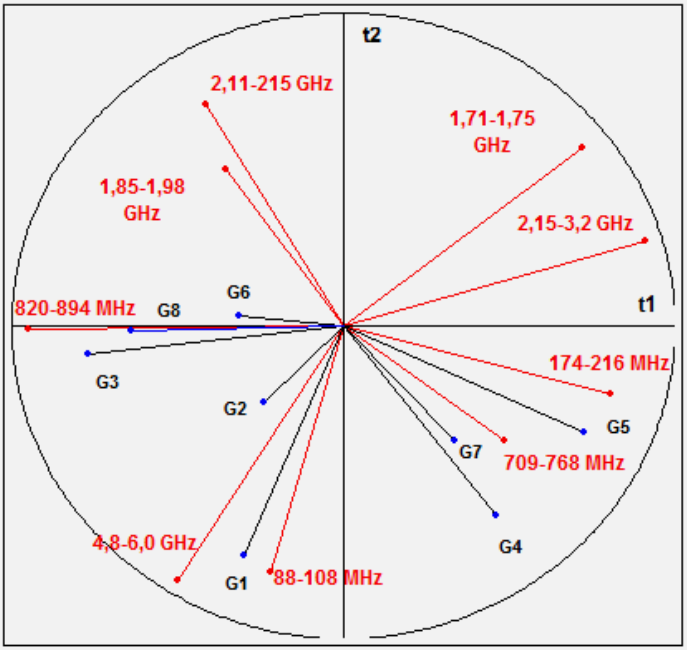


Fig. 3. Correlaciones sobre ejes t_1 y t_2 de la regresión PLS.

Fuente elaboración propia

Aplicando el modelo de regresión descrito, se obtienen los coeficientes de predicción, que permiten, por interpolación, graficar los entornos de superficie de los baricentros de los grupos G_i de mediciones de inmisión; y el graficado de los atributos de las fuentes de emisión. El resultado es un gráfico integrado, Fig. 4, que relaciona niveles globales de inmisión, con características individuales de las fuentes, visualizando la predicción de dosis medias de radiación, en zonas coloreadas, con porcentuales de distintos niveles de radiaciones en los puntos de mediciones localizados.

El software XLSTAT, contiene el procedimiento completo que permite esta realización. La regresión se realiza teniendo en cuenta la metodología presentada por Tenenhaus et al. (2005).

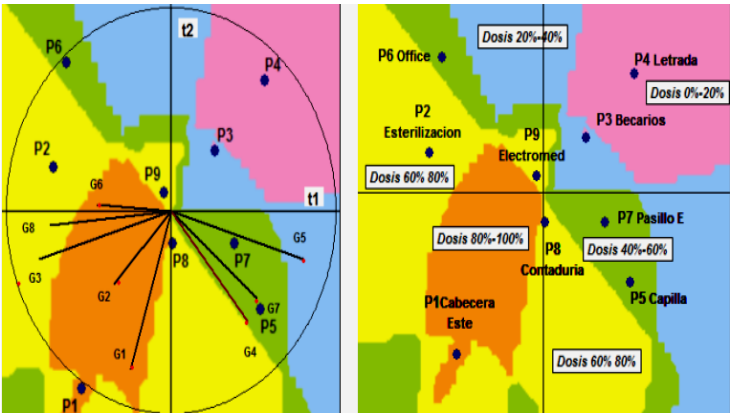


Fig. 4. a) Gráfico factorial de las predicciones de G_i sobre t_1, t_2;
b) entorno de colores obtenidos por interpolación.
Fuente elaboración propia

Las áreas de colores representan dosis medias de radiación por Inmisión. Los niveles, son considerados porcentajes o el número de mediciones por encima de la intensidad media del campo, medidos en un intervalo de tiempo dado y en cada zona de color del gráfico factorial obtenido por regresión PLS.

Sí, entre 0%-20% del número de las mediciones están por encima de la intensidad media de los niveles de campo, las dosis de inmisión es despreciable y la exposición relativa es sin riesgo; si están entre 20%-40% la dosis de inmisión es baja y la exposición relativa es segura; si están entre el 40%-60%, es media baja y la exposición relativa es de poco riesgo; si están entre 60%-80% la dosis de inmisión es media con exposición relativa de riesgo aceptable; y entre el 80%-100%, es apreciable y la exposición relativa es de tiempo limitado, Soo Chan Kim et Al (2009). Estos niveles de exposición, por lo general siempre están muy por debajo de los límites permitidos, que se establece en los estándares internacionales (menores del 2% del nivel máximo permitido). Observando el grafico, es muy fácil ver dónde se ubican las zonas de mayor a menor dosis media de radiaciones.

La información descriptiva de emisión, puede entonces ser representada sobre este espacio con el fin de interpretar su

influencia (causas) y comprender las características de intensidad y frecuencia asociadas al nivel de radiaciones de inmisión (efectos), apreciado en los diferentes segmentos, mostrados en la Fig. 5 y Fig. 6.

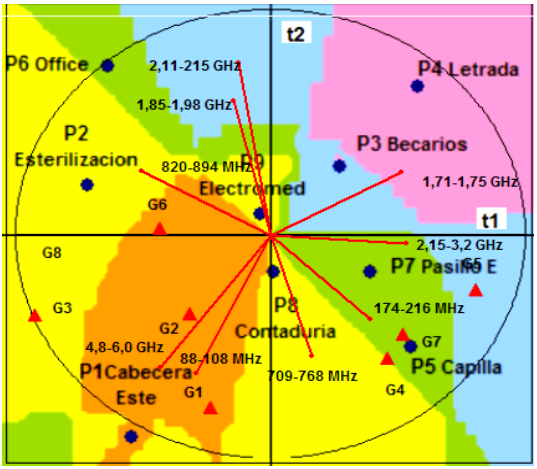


Fig. 5. Mapa Integrado que relaciona los niveles de radiación, con las características de las fuentes de emisión, visualizados en zonas coloreadas con porcentuales de distintas dosis media de inmisión, en los puntos de mediciones localizados, α = 0,05. Fuente elaboración propia.

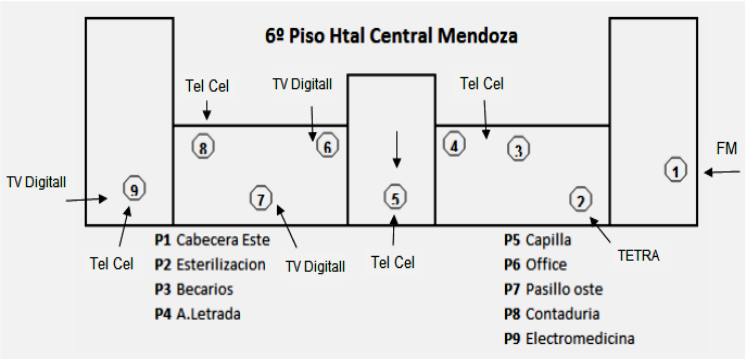


Fig. 6. Esquema de las incidencias de emisión en los sitios estudiados.

Conclusiones

Los niveles de radiación en banda ancha, son utilizados para crear el espacio de los efectos, representar la dosis de inmisión media y las características descriptivas de las fuentes de emisión causales, que se “regresan” posteriormente, proyectando las señales dominantes sobre este espacio construido.

Esta idea inspiró al equipo de investigación del Laboratorio LECER para utilizarla en forma genérica de la misma manera que en sensometría, y aplicarla al estudio de los dos conjuntos de datos obtenidos por análisis instrumental, las mediciones de inmisión y emisión de las radiaciones de radiofrecuencias, en el medio ambiente dentro del edificio del hospital.

Existen ventajas asociadas con la metodología indicada y es que, sea posible visualizar en zonas del plano, los grupos de mediciones en donde se pueda observar porcentualmente las dosis de inmisión predichas con niveles relativos a la media en esa región del mapa. Otra ventaja de construir los gráficos factoriales predictivos, es que a partir de la información obtenida, pueden revelarse los impulsores de las radiaciones que dependen de las fuentes y que inciden en las dosis predichas de inmisión.

Los mapas de color obtenidos, tienen la ventaja de proporcionar una representación gráfica simple, permitiendo una visión global, inmediata y muy precisa de la situación con respecto a estudios de fenómenos cuyos sistemas de información aplican mediciones instrumentales de tipo formativo (*causales* vs. *efectos*), mucho más difícil de utilizar con otros métodos estadísticos, (Long Range Planning, 2012).

La estrategia de análisis presentada en este trabajo, encaja dentro del enfoque general de los estudios de preferencias en sensometría. Los trabajos empíricos realizados a nivel mundial con esta técnica destacan por su exactitud en la predictibilidad de los fenómenos de estudio, por la validez tan robusta que

contiene, pero a la vez muy sencilla de desarrollar, interpretar y practicar.

Referencias

Bassereau, J. F. (1995). Cahier des charges qualitatif design, élaboration par le mécanisme des sens (Doctoral dissertation, Paris, ENSAM).

Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. Modern methods for business research, 295(2), 295-336.

Chin, W. W., & Newsted, P. R. (1999). Structural equation modeling analysis with small samples using partial least squares. Statistical strategies for small sample research, 1(1), 307-341.

Clementi, S., Cruciani, G., Curti, G., & Skagerberg, B. (1989). PLS response surface optimization: the CARSO procedure. Journal of Chemometrics, 3(3), 499-509.

Coombs, C. H., & Avrunin, G. (1977). A theorem on single-peaked preference functions in one dimension.

Cordero, O. L., & Olague, J. T. (2001). Modelo de ecuaciones estructurales SEM por el método de mínimos cuadrados parciales (partial least squares-PLS).

Crochemore, S., Daniel, N. E. S. A., & Couderc, S. (2004). Méthodes d'analyse sensorielle des matériaux plastiques. Ed. Techniques Ingénieur.

Diamantopoulos, Adamantios; Winklhofer, Heidi M. (2001). Index construction with formative indicators: An alternative to scale development. Journal of marketing research, vol. 38, no 2, p. 269-277.

Duchamp, R. (1999). Méthodes de conception de produits nouveaux. Hermès science publications.

Endrizzi, I., Pirretti, G., Calò, D. G., & Gasperi, F. (2009). A consumer study of fresh juices containing berry fruits. Journal of the Science of Food and Agriculture, 89(7), 1227-1235.

Felberg, I., Deliza, R., Farah, A., Calado, E., & Donangelo, C. M. (2010). Formulation of a soy–coffee beverage by response surface methodology and internal preference mapping. Journal of Sensory Studies, 25, 226-242.

Gefen, D., Straub, D., & Boudreau, M. C. (2000). Structural equation modeling and regression: Guidelines for research practice. Communications of the association for information systems, 4(1), 7.

Greenhoff, K., & MacFie, H. J. H. (1994). Preference mapping in practice. In Measurement of food preferences (pp. 137-166). Springer, Boston, MA.

Heiser, W. J., & De Leeuw, J. (1981). Multidimensional mapping of preference data. Mathematiques et Sciences humaines, 19, 39-96.

Höskuldsson, A. (1992). The H-principle in modelling with applications to chemometrics. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 14(1-3), 139-153.

Lohmöller, J. B. (1989). Predictive vs. structural modeling: Pls vs. ml. In Latent Variable Path Modeling with Partial Least Squares (pp. 199-226). Physica, Heidelberg.

Martens, M., Tenenhaus, M., Vinzi, V. E., & Martens, H. A. (2007). The use of partial least squares methods in new food product development. In Consumer-led food product development (pp. 492-523). Woodhead Publishing Limited.

Mateos-Aparicio, G. (2011). Partial least squares (PLS) methods: Origins, evolution, and application to social sciences. Communications in Statistics-Theory and Methods, 40(13), 2305-2317.

McEwan, J. A. (1996). Preference mapping for product optimization. In Data handling in science and technology (Vol. 16, pp. 71-102). Elsevier.

Michon, C., O'sullivan, M. G., Sheehan, E., Delahunty, C. M., & Kerry, J. P. (2010). Study on the influence of age, gender and familiarity with the product on the acceptance of vegetable soups. Food quality and preference, 21(5), 478-488.

Nokels, L., Fahmy, T., & Crochemore, S. (2010). Interpretation of the preferences of automotive customers applied to air conditioning supports by combining GPA and PLS regression. In Handbook of Partial Least Squares (pp. 775-789). Springer, Berlin, Heidelberg.

Olague de la Cruz, J. T. (2015). El método de mínimos cuadrados parciales (PLS) como herramienta de análisis causal: un modelo

explicativo de los componentes de imagen de destino en función de las motivaciones de viaje del turista urbano.

PLS de XLSTAT Addin soft (2009-2014)

Sinesio, F., Cammareri, M., Moneta, E., Navez, B., Peparaio, M., Causse, M., & Grandillo, S. (2010). Sensory quality of fresh French and Dutch market tomatoes: a preference mapping study with Italian consumers. Journal of Food Science, 75(1), S55-S67.

Soo Chan Kim, Chang Nam Y Deok Won Kim (2009). “criterios de niveles de riesgos de exposición RF”. Escuela de Graduados de Bio & Tecnología de la Información, Universidad Nacional Hankyong, Anseong, Corea2 Departamento de Ingeniería Médica, Yonsei University College de Medicina de Seúl, Corea

Tenenhaus, C., Subramaniam, K., Dunn, M. A., & Seydoux, G. (2001). PIE-1 is a bifunctional protein that regulates maternal and zygotic gene expression in the embryonic germ line of Caenorhabditis elegans. Genes & development, 15(8), 1031-1040.

Tenenhaus, M., Vinzi, V. E., Chatelin, Y. M., & Lauro, C. (2005). PLS path modeling. Computational statistics & data analysis, 48(1), 159-205.

Tenenhaus, M., & Gonzalez, P. L. (1999, January). Comparaison entre les approches PLS et LISREL en modélisation d'équations structurelles: application à la mesure de la satisfaction clientèle. In SFC2001 (pp. 321-330).

van Kleef, E., van Trijp, H. C., & Luning, P. (2006). Internal versus external preference analysis: An exploratory study on end-user evaluation. Food quality and preference, 17(5), 387-399.

Verdum, R. (2006). Etnodesenvolvimento: nova/velha utopia do indigenismo. Brasília: CEPAC/UnB.

Wold, H. (1985). Factors influencing the outcome of economic sanctions. Trabajos de estadística y de investigación operativa, 36(3), 325-338.

Wold, S., Kettaneh-Wold, N., & Skagerberg, B. (1989). Nonlinear PLS modeling. Chemometrics and intelligent laboratory systems, 7(1-2), 53-65.

* * *

12

Laboratorio de Emocionalidad Neuroingeniería en el CeReCoN

Antonio Alvarez Abril, Santiago Cristóbal Perez,

Higinio Alberto Facchini, Nelson Dugarte Jerez,

Matilde Inés Césari

Resumen_ La palabra "emoción" etimológicamente deviene de "aquello que nos pone en movimiento" y, literalmente, las emociones cumplen esa función esencial dentro de nuestro esquema vital. Ellas nos predisponen y regulan el equilibrio interno de nuestro organismo para un determinado tipo de acción adaptativa. Mientras el miedo nos protege ante el peligro y nos lleva a la acción de resguardarnos, la ira permite que defendamos nuestro "círculo vital" en las ocasiones en las que nos sentimos invadidos. Por otra parte, la alegría nos permite expresar a los demás aquello que nos gusta y, en ocasiones, genera bienestar y tonificación neural. Y así, cada emoción cumple su función primaria. Pero las emociones son mucho más que esto. Una emocionalidad "alterada" provoca una "decisión alterada" que, en muchos casos, puede ser errónea. Como demostró Antonio Damassio, investigador de la Universidad del Sur de California y reconocido neuropsiquiatra a nivel mundial: "Demasiada o poca emocionalidad nos pueden llevar a tomar decisiones equivocadas". A los robots les sucede exactamente lo mismo.

Palabras claves: Tecnología afectiva, neurociencias, neuroingenería, afectividad.

A pesar de su importancia, el estudio de las emociones casi siempre ha sido un tema tabú para la Ciencia y la Tecnología y recién hoy, a través de la conjunción de las Neurociencias con la Neuroingeniería, comenzamos a comprender su real dimensión en el cerebro humano y, sobre todo, a descubrir de qué manera pulsan y activan los distintos sistemas neurales que nos transforman en lo que somos y hacemos cada día.

En 1995 Rosalind Picard, del Lab Media - Computational Perception, del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) desarrolló un paper que algunos consideran el inicio "formal" de la "Tecnología Afectiva" y en este trabajo Rosalind nos introduce en los aspectos clave de las emociones y su rol en los procesos de toma de decisiones.

La robótica afectiva o "Affective Technology" es un campo disciplinar relativamente nuevo de la Neuroingeniería, que estudia profundamente las emociones humanas y enseña a las máquinas a detectar los estados emocionales de las personas para establecer empatía y generar una ToM (teoría de la mente del otro) a fin de que la interacción entre ambos sea la más efectiva

Introducción

El gran desafío hoy de la tecnología afectiva es comprender de manera más precisa la complejidad de la vida emocional de las personas; la disfuncionalidad emocional es origen de muchas enfermedades catalogadas como "psicológicas" o "psiquiátricas" y, tal vez, en un futuro veamos que sus causas raigales también están relacionadas con nuestro "cableado neural" sobre el cual se hacen, cada vez más, descubrimientos increíbles y sorprendentes.

Los avatares, robots o asistentes de inteligencia emocional, basados en tecnología afectiva, nos pueden enseñar a comprender y ayudar a educar mejor nuestras emociones porque, aunque parezca contradictorio, los humanos nos ocupamos escasamente de esa tarea.

La educación habla muy poco acerca de ellas y, en la mayor parte de las culturas, la expresión de nuestras emociones es algo "mal visto".

Desde la escuela primaria hasta la Universidad se nos enseña a comportarnos más como una especie de "zombies" que como seres humanos preocupados de empatizar con quienes tenemos al lado. A la educación todavía le cuesta comprender que las emociones son la llave de arranque de

los procesos perceptuales- cognitivos y que debe trabajar activamente sobre ella.

Laboratorio de Emocionalidad de Neuroingeniería

El Neuroengineering Emotional Lab del Centro Regional de Investigación en Computación y Neuroingeniería (CeReCoN) del Departamento de Electrónica de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza es uno de los primeros del país en comenzar a estudiar las emociones desde una perspectiva distinta, basada en una mirada biológica, neuroevolutiva, computacional e integradora de las mismas.

Figura 1

Para estudiar la emocionalidad y desarrollar sistemas de tecnología afectiva nuestro laboratorio cuenta con una serie de equipos destinados a tal fin como electroencefalógrafos (EEG) y mapeadores cerebrales, dispositivos para la medición de la respuesta galvánica de la piel, sistemas de eye tracking, sistemas de video filmación sincronizada con EEG, sistemas de realidad virtual para prácticas de "inmersión situacional", sistemas de lectura de rostros o facial, etc. (figura 1)

Este tipo de investigación nos permite el desarrollo de interfaces cerebro-computadora (Brain-Computer-Interface) que son dispositivos orientados a la detección de determinados estados neurales y/o al estímulo adecuado de redes neurales para lograr determinados efectos de neurorrehabilitación, basados en una condición esencial de nuestro cerebro que se llama "neuroplasticidad".

La tecnología afectiva es, sin lugar a dudas, uno de los campos de desarrollo más prometedores de la Neuroingeniería del siglo XXI porque su impacto se extenderá a la educación, la medicina, la psiquiatría, la psicología, el arte, el neuromarketing, la toma de decisiones en economía, en política, en sociología, etc.

Equipamiento del Laboratorio de Emocionalidad

El laboratorio del Neuroengineering Emotional cuenta con las siguientes herramientas y técnicas:

- Un electroencefalógrafo (EEG) - es un equipo destinado a una exploración neurofisiológica que se basa en el registro de la actividad bioeléctrica cerebral en condiciones basales de reposo, en vigilia o sueño, y durante diversas activaciones (habitualmente hiperpnea y estimulación luminosa intermitente). El electroencefalograma es una prueba no invasiva que permite estudiar la actividad eléctrica cerebral (figura 2).

Figura 2

- Un mapeador cerebral - permite la utilización de un conjunto de técnicas de la neurociencia dedicadas a la cartografía de las cantidades o propiedades (biológicas) en las representaciones espaciales del cerebro (humano o no humano) que resultan en mapas (figura 3). El mapeo cerebral se define además como el estudio de la anatomía y funcionamiento del cerebro y la médula espinal a través del uso de imágenes, inmunohistoquímica, la optogenética, células madre, la biología celular, la ingeniería (material, eléctrica y biomédica), la neurofisiología y la nanotecnología.

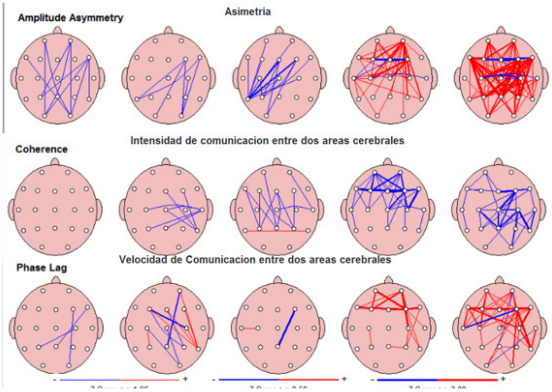


Figura 3

• El seguimiento de ojos (traducido del inglés eye tracking) - es el proceso de evaluar, bien el punto donde se fija la mirada (donde estamos mirando), o el movimiento del ojo en relación con la cabeza. Este proceso es utilizado en la investigación en los sistemas visuales, en psicología, en lingüística cognitiva y en diseño de productos. Existen diversos sistemas para determinar el movimiento de los ojos. La variante más popular utiliza imágenes de vídeo a partir de las cuales se extrae la posición del ojo. Otros métodos utilizan bobinas de búsqueda o están basados en electrooculogramas (figura 4).

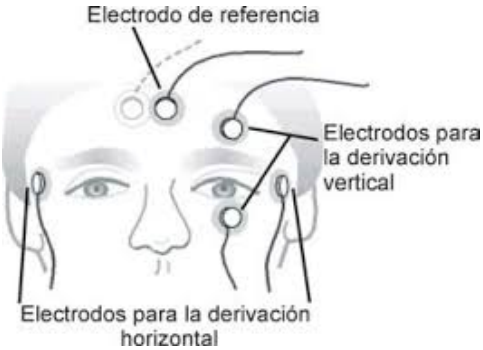


Figura 4

- Un sistema de realidad virtual (RV) - permite un entorno de escenas u objetos de apariencia real. La acepción más común refiere a un entorno generado mediante tecnología informática, que crea en el usuario la sensación de estar inmerso en él. Dicho entorno es contemplado por el usuario a través de un dispositivo conocido como gafas o casco de realidad virtual. Este puede ir acompañado de otros dispositivos, como guantes o trajes especiales, que permiten una mayor interacción con el entorno, así como la percepción de diferentes estímulos que intensifican la sensación de realidad.

- Un sistema de reconocimiento facial - es una aplicación dirigida por ordenador que identifica automáticamente a una persona en una imagen digital. Esto es posible mediante un análisis de las características faciales del sujeto extraídas de la imagen o de un fotograma clave de una fuente de video, y comparándolas con una base de datos.

- Una interface aBCI - tiene como objetivo central lograr el registro de las respuestas afectivas que tienen las personas ante estímulos que las pueden llevar por distintos tipos de estados emocionales. A partir de este registro, el sistema propone distintos tipos de respuestas adaptativas que estarán en consonancia con los objetivos para los cuales fue diseñado el sistema, que pueden ser muchos, de acuerdo al campo de actividad en el que el mismo se quiera aplicar (figura 5).

Figura 5

Básicamente una interface aBCI tiene cuatro componentes modulares básicos:

- El Módulo de Sensores Biométricos: es el que define los parámetros a medir, de acuerdo al tipo de investigación que estemos realizando o al perfil de las personas que estamos analizando. Si por ejemplo deseamos estudiar una emoción en particular, como la ira, las características biométricas de ella serán el aumento de la frecuencia cardíaca, la transpiración, el aumento de la frecuencia respiratoria y la fijación de la mirada en el adversario. Para definir sus indicadores principales podríamos medir la señal electrocardiográfica, la respuesta galvánica de la piel, la resistencia toráxica y el punto de fijación de la visión. En el caso particular de las personas con ASD, su expresión emocional se ve más dificultada y, por eso, es sumamente importante este tipo de estudio sobre ellos.

- El Módulo de Conversión Analógica/Digital: adecua la señal biológica proveniente del sensor para su apropiada digitalización, y en sincronía con el resto de las otras. La medición de sincronías y la capacidad del software para establecer patrones de mapeo cerebral es otra de las funciones centrales de este sistema.

- El Módulo de Procesamiento Local: es una computadora que está conectada directamente a la interface aBCI para realizar el almacenamiento y el procesamiento de datos de manera local, en búsqueda de patrones específicos, en aplicación de software de diseño para análisis de señal o bien para la aplicación de algoritmos de diversa naturaleza.

- El Módulo de Plataformas de Big Data: sirve a los fines de realizar distintos tipos de análisis en plataformas dedicadas al procesamiento masivo de este tipo de señales como por ejemplo el procesamiento de rostros o respuestas emocionales ante estímulos de videos cortos estandarizados.

Tendencias actuales de la "Tecnología afectiva"

El objetivo principal de la computación afectiva está centrado en el desarrollo de aplicaciones que permitan ayudar a la

toma de decisiones de una forma más humana, así como de mejorar la interacción entre las personas y las máquinas.

Este nuevo paradigma requiere para su desarrollo equipos multidisciplinares que abarcan áreas como la Inteligencia Artificial, Ingeniería Biomédica, Neurociencia, Psicología y Medicina.

Las aplicaciones de la computación afectiva son muy variadas, desde la educación hasta el entretenimiento.

El grupo de computación afectiva del MIT, pionero en este campo, trabaja en un tutor de piano que, dependiendo del estado anímico, presenta unos ejercicios u otros.

En el campo de los videojuegos, ya se pueden crear juegos que, cuando detecten aburrimiento, generen acciones para "enganchar al usuario". Y, al contrario, si el nivel de estrés supera unos umbrales, reducir la intensidad de los mismos.

También se puede aplicar al neuromarketing. Las empresas de publicidad pueden diseñar anuncios (para cualquier medio) que maximice las emociones de las personas a las que van orientados.

O, por ejemplo, cadenas de televisión como la BBC o la CBS están testeando sus programas a la respuesta de la audiencia (los oyentes y telespectadores). Así, envían clips a miles de voluntarios, estos los pueden ver con una webcam y se pueden interpretar las reacciones faciales y conductuales (datos que se transforman en validar si gusta o no).

En el caso de la salud, es conocido que las emociones están íntimamente relacionadas con la misma. Situaciones estresantes, estados de depresión, frustración y otras emociones negativas pueden afectar a su estado. Se plantea que un sistema que sea capaz de detectar dichas situaciones y nos ayude a salir de dichos estados puede ayudar a mejorar nuestra salud. Por ejemplo, si somos capaces de mantener estados emocionalmente positivos potenciaríamos nuestro sistema inmune. La eficacia de los tratamientos y los periodos

de recuperación mejoran sensiblemente bajo la influencia de estados emocionales positivos.

También se está aplicando en niños autistas, en el tratamiento del Síndrome de Asperger y en hiperactividad, y se están desarrollando muchas más aplicaciones.

Esta tecnología no podrá sustituir a los médicos, por ahora, pero sí ayudar al diagnóstico y tratamiento, y sobre todo a facilitar la vida cotidiana de los usuarios y pacientes.

La computación afectiva también intenta abordar uno de los inconvenientes principales del aprendizaje en línea frente al aprendizaje presencial: la capacidad de los profesores de adaptar la situación pedagógica al estado emocional del estudiante en la clase. En las aplicaciones de aprendizaje electrónico, la computación afectiva se puede utilizar para ajustar el estilo de presentación de un profesor informatizado cuando un estudiante está aburrido, interesado, frustrado o contento

Conclusiones

El estudio de la emocionalidad pone en debate, con la nueva mirada de la ciencia, un tema que aún para muchos profesionales, investigadores, intelectuales, religiosos y artistas sigue siendo tabú, pero que sin embargo juega un rol trascendente en la felicidad de las personas.

Entender y educar la emocionalidad es tan o tal vez más importante que aprender reglas gramaticales y matemáticas en la escuela, porque en el mundo emocional está la energía que "enciende a la corteza cerebral" para ser creativa, inspiradora y constructoramente activa.

Una emocionalidad deficiente implica un cerebro que no está trabajando en plenitud. Los sistemas educativos dan poca importancia a este principio central del funcionamiento cerebral y con frecuencia resignan horas de clase dedicadas al arte o a la expresión de la emocionalidad en pos de mayor "instrucción intelectual" y con ello reducen las chances de

potenciar y desarrollar cerebros más creativos, más plásticos y con mayor capacidad de resiliencia.

El desarrollo de competencias emocionales se considera hoy una necesidad esencial para el éxito en el desempeño profesional y personal, pero sin embargo, la emocionalidad está lejos de ser objeto de estudio de los sistemas educativos formales.

Se puede concluir que, para seguir avanzando en esta tecnología incipiente, pero con mucho futuro, es necesario realizar estudios, obtener datos y trabajar con ellos.

Para ello, se emplean diferentes estrategias de análisis de respuestas cerebrales y emocionales.

El grupo de trabajo del CeReCoN tiene proyectos de investigación en esta línea, como:

- Sistema de detección precoz y neurofeedback para el tratamiento de personas con síndrome del espectro autista
- Proyecto de Rehabilitación neurocognitiva
- Interfaces Cerebro-máquinas
- Sistemas Integrados de datos biomédicos

Algunos de los proyectos están en etapa avanzada y otros en su fase inicial; pero con la firme convicción de que los mismos tendrán un aporte significativo en esta área de tendencia actual mundial.

Referencias

A. Alvarez Abril, (2016) "*The Emotional Brain*", CERECON – National Technological University. www.irbutn.org.

Ainley, M. (2006). *Connecting with learning: Motivation, affect, and cognition in interest processes*. Educ Psychol Rev, 18, 391-405.

Akbiyik, C. (2009). Educational software from emotional perspective: An experimental study. IADIS Multiconference on Science and Information Systems.17-23 June, Portugal. Proceedings Book of Interfaces and Human Computer Interaction, 171-175.

Baldasarri, Sandra (2016). "Computación Afectiva: tecnología y emociones para mejorar la experiencia de usuario" en *Revista*

Institucional de la Facultad de Informática | *UNLP. Núm 3*, pp.14-15.

B. Hamadicharef, (2010) “Brain-computer interface (BCI) literature bibliometric study”, in Proc. 10th Int. Conf. Inf. Sci. Signal Process. Appl., pp. 626–629.

Grace Leslie, Alejandro Ojeda, Scott Makeig, (2013) “Towards an Affective Brain-Computer Interface Monitoring Musical Engagement”, Humaine Association Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII), Geneva, Switzerland

M. Siracusa and F. Avila, (2017). “Clasificación de Patrones Bioeléctricos con Métodos de Aprendizaje de Máquinas”, Proyecto Final de Grado, Ingeniería en Electrónica, Instituto Regional de Bioingeniería, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza.

Picard, R. W. (1997). Affective computing. Cambridge: MIT Press

S. Nishimoto, A. T. Vu, T. Naselaris, Y. Benjamini, B. Yu, and J. L. Gallant, (2011) “Reconstructing visual experiences from brain activity evoked by natural movies, Current Biol., vol. 21, no. 19, pp. 1641–1646.

Vázquez Aldecoa, J. (2014). *La llegada de las nuevas tecnologías afectivas al sector cultural*. ANUARIO AC/E DE CULTURA digital.

Y. Wang and T. P. Jung, (2011) “A Collaborative brain-computer interface for improving human performance”, PLoS ONE, vol. 6, no. 5, e20422.

Zambrano, Banchon (2017). *Computatión afectiva y análisis del comportamiento del consumidor*. International Journal of Innovation and Applied Studies; Rabat Vol. 20, Iss. 2, 551-559.

* * *

13

Análisis de la Afectividad y la Evaluación del Trastorno del Espectro Autista TEA Diseño Experimental de una Plataforma Biométrica en el CeReCoN

Antonio Alvarez Abril, Santiago Cristóbal Perez,

Higinio Alberto Facchini

Resumen: Las investigaciones en neurociencias, de las últimas dos décadas, han demostrado la importancia que tienen las plataformas biométricas en muchos procesos cognitivos, y en cuadros complejos de déficit emocional, como el Trastorno del Espectro Autista (ASD, Autism Spectrum Disorders) que afecta a 1 de cada 100 personas en el mundo. La aparición de la robótica afectiva, la inteligencia artificial y los sistemas de aprendizaje automático (ML, Machine Learning) están dando lugar a un área apasionante de la tecnología que se denomina "tecnología de la afectividad", y que en pocos años cambiará la concepción que hoy tenemos de nuestra vida emocional y, también, de la forma en la que nos vinculamos con los sistemas naturales y artificiales. Las aplicaciones innovadoras de este tipo de tecnología, a pacientes con ASD, marcarán el futuro de la misma. Se presenta una descripción de ASD y el estado avance de un diseño experimental piloto del uso de aBCI (affective Brain–Computer Interfaces) para su tratamiento terapéutico..

Palabras claves: Neuroingeniería, Tecnología Afectiva, ASD, ASS, aBCI

Desde fines de los 90s y la primera década del año 2000, tanto Estados Unidos como la Unión Económica Europea, invirtieron importantísimas sumas de dinero y recursos humanos de investigación en el Proyecto Cerebro Humano (HBP, Brain Human Project), a partir del cual cambió sustancialmente la concepción que teníamos del órgano más complejo y difícil de comprender: el cerebro. El

descubrimiento del alcance plástico, de lo que se conocía como neuroplasticidad, demostró que el cerebro no es un órgano "estático", sino que se recrea "día a día" más de lo que creíamos, en función de las cosas que aprende y las emociones que lo impactan.

Con el entrenamiento adecuado, el cerebro es capaz de “recablearse” a sí mismo, con todo el potencial terapéutico que esto implica. El hallazgo de la neurogénesis demostró que hay cierta clase de neuronas que tienen la capacidad de regenerarse, y el descubrimiento accidental, a fines de los 90s, de las Neuronas Espejo (Mirror Neurons), permitió comprender la importancia que las mismas tienen para el desarrollo de la "empatía social" y la adaptación al mundo que nos rodea desde lo emocional-afectivo. Un déficit en las redes neuronales espejo provoca dificultades importantes en la vida socio-afectiva de las personas.

El trabajo que aquí se presenta tiene como objeto abordar a mediano plazo la problemática del ASD o Síndrome del Espectro Autista (ASS, Autism Spectrum Syndrome), desde una perspectiva amplia vinculada con el impacto que tiene la alteración de la emocionalidad sobre el mismo, y propone el diseño y desarrollo de una plataforma biométrica para el análisis y terapéutica de esta patología.

El resto de este documento se estructura de la siguiente manera: la Sección 2 introduce los conceptos de Percepción, Emocionalidad y ASD; la Sección 3 trata sobre la Emocionalidad, Autismo e Interfaces Afectivas; la Sección 4 plantea el estado del arte de las Plataformas Biométricas de la Afectividad; la Sección 5 describe una propuesta de Experimento Piloto; y la Sección 6 establece las Conclusiones.

Percepción, Emocionalidad y ASD

Durante el transcurso de la evolución de cientos de miles de años, los seres humanos desarrollamos un primer sistema de “respuesta y comunicación adaptativo”, cuyo funcionamiento tiene un componente esencial basado en la emocionalidad.

Las emociones, en definitiva, juegan un rol central en preparar a nuestro organismo para una respuesta casi inmediata en relación con las circunstancias del medio que nos rodea y, que, básicamente, podamos interpretar como amenazantes o provechosas para nuestro bienestar. Pero las emociones, como sistema de comunicación primal, son también las que nos ligan a los demás, y cumplen un rol central en los procesos de sociabilización.

Nosotros no solamente actuamos a partir de nuestras emociones, sino que también nos comunicamos a través de ellas. Provenientes de Latín "emotio", que significa movimiento o impulso, las emociones son las que literalmente nos ponen en acción, ya sea alejándonos de aquello que nos desagrada o atrayéndonos hacia lo que nos parece deseable.

Las emociones se definen como respuestas psicofisiológicas, a través de las cuales nos adaptamos y respondemos a diversas situaciones que podemos percibir de distinta manera. Desde el punto de vista estrictamente fisiológico, las emociones predisponen a nuestro organismo para actuar en función de una percepción que da origen a lo que denominaremos un "arousal", "estado previo" o “excitación umbral”, que es característico de cada una de ellas.

Además de su propia naturaleza, las emociones tienen un impacto importante en nuestra conducta y en procesos cognitivos como la atención, la memoria y la percepción de la realidad misma. Literalmente, nuestro cerebro "filtra" la realidad que nos rodea a través de nuestro estado emocional. Como una característica universal, las emociones alteran de manera casi automática nuestra expresión facial, el tono de nuestro sistema neuromuscular, nuestro estado de alerta y el sistema hormonal e inmunológico, en su conjunto. Desde el punto de vista evolutivo, el papel de las emociones ha sido central para nuestro desarrollo como individuos y como especie. En situaciones emocionales muy intensas, los procesos corporales son disparados casi automáticamente: el corazón late más rápido, el pulso se eleva, las manos se vuelven sudorosas.

Cuando estamos fisiológicamente o psicológicamente excitados (con miedo, alegría extrema o bajo estrés), comenzamos a sudar o transpirar, y esta respuesta es apenas una de las tantas que nuestra configuración emocional dispone para protegernos y hacernos más eficientes durante la acción. Un rostro de pánico o de ira, un gesto corporal de depresión, un estado de duelo o de atracción sexual son algunas de las expresiones emocionales que son comunes en el ser humano, reconocibles en casi todas las culturas y, aún, en nuestros parientes más cercanos: los monos y primates.

Durante muchos años, el estudio de las emociones ha estado confinado casi exclusivamente al ámbito de la psicología, el arte, las religiones y, en algunos casos, la medicina.

En los últimos años, las Neurociencias han hecho descubrimientos sorprendentes en la relación con el comportamiento del sistema de percepción-cognición-emoción (PCE) y muchos de estos hallazgos impactan fuertemente en el conocimiento que hasta ahora tenemos de la vida emocional y su evolución, desde épocas ancestrales.

El desarrollo de competencias emocionales se considera hoy una necesidad esencial para el éxito en el desempeño profesional y personal. Sin embargo, la emocionalidad está lejos de ser objeto de estudio riguroso de las líneas de investigación tecnológicas formales. Y recién desde hace apenas unos años, los laboratorios de robótica afectiva, neuroingeniería y vida artificial están comenzando a hacer algunos puntos de desarrollo en relación con esto.

En el caso particular de los trastornos ASD, las emociones relacionadas con el desarrollo comunicacional se encuentran seriamente afectadas y, por lo tanto, una persona con este tipo de déficit no puede decodificar señales emocionales de su interlocutor, porque no tiene la empatía necesaria para hacerlo. Quienes padecen ASD se sienten aislados socialmente y, de esta manera, su patología se profundiza cada vez más, porque precisamente, se ven privados de lo que necesitan para entrenar sus sistemas emocionales poco desarrollados: la sociabilización.

Emocionalidad, Autismo e Interfaces afectivas

La computación-electrónica afectiva es la interacción humano-computadora, en la que un dispositivo tiene la capacidad de detectar y responder adecuadamente a las emociones, y otros estímulos de su usuario. Un dispositivo computacional con esta capacidad puede reunir indicios sobre la emoción del usuario a partir de una variedad de fuentes. A través de distintos tipos de procesamientos pueden aportar conclusiones o acciones que son sumamente importantes para distintos campos de actividad cotidianas, como la educación, la salud, la industria, la asistencia de personas, etc. Las expresiones faciales, la postura, los gestos, el habla, la fuerza muscular o el ritmo de las pulsaciones, y los cambios de temperatura de la mano, pueden significar variaciones en el estado emocional del usuario, y todos pueden ser detectados e interpretados por una computadora. Una cámara incorporada captura imágenes del usuario y se utilizan **algoritmos** para procesar los datos, y obtener información significativa. El reconocimiento de voz y el reconocimiento de gestos se encuentran entre las otras tecnologías que se exploran para las aplicaciones de la electrónica afectiva.

Como dijimos en el apartado anterior, las emociones cumplen un rol adaptativo y comunicacional sumamente importante para los seres humanos, y son muchas las patologías que pueden afectar nuestra emocionalidad ASD. Desde fines de los años setenta, no solo se ha incrementado el refinamiento en la definición de autismo, sino que también se ha extendido y ampliado hacia el concepto de “trastorno de espectro”. En los niños pequeños, con trastorno ASD, la falta de habilidades sociales y de comunicación puede impedir el aprendizaje, particularmente el aprendizaje a través de la interacción social o en las situaciones con compañeros (DSM V, Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders).

En el DSM V, las personas dentro del “espectro autista” presentan deficiencias persistentes en la comunicación social y en la interacción social en diversos contextos, manifestado

por labilidad en la reciprocidad socioemocional, en las conductas comunicativas no verbales utilizadas en la interacción social, y en el desarrollo, mantenimiento y comprensión de las relaciones. Además, presentan dificultades para ajustar el comportamiento en diversos contextos sociales, pasando por dificultades para compartir juegos imaginativos o para hacer amigos, hasta la ausencia de interés por otras personas. Todas estas manifestaciones se dan en distintos niveles de gravedad. Según Valdez y Ruggeri, los últimos datos epidemiológicos disponibles muestran que la prevalencia de casos dentro de los trastornos del espectro autista es de 6,5 cada 1.000 nacimientos. El Centro para el Control y Prevención de las Enfermedades de USA en 2010, registró 1 caso cada 110 nacimientos.

En la primera década de los 2000 Vilayanur S. Ramachandran, de la Universidad de California en San Diego (UCSA), comenzó a estudiar la relación entre los sistemas de neuronas espejo y el ASD. La hipótesis de trabajo fue que si dichas neuronas están involucradas en el desarrollo de la empatía social, y el autismo involucra una deficiencia en esa capacidad, un déficit en las redes neuronales espejo podría ser una de las causas prevalentes del ASD. Experimentos posteriores han ratificado dicha hipótesis, y se ha observado que las personas con ASD no presentan la respuesta eléctrica en la corteza cerebral como lo hacen las personas normales. Estudios con imágenes han demostrado que los sistemas de redes neuronales espejo están asociadas a núcleos cerebrales relacionados con el aprendizaje del lenguaje, el manejo de la emocionalidad y la percepción de cómo nos ven los demás. La disfunción de las neuronas espejo en la ínsula y la cíngula anterior pueden causar problemas relacionados con la ausencia de empatía, y la carencia de las mismas en el girus angular del cerebro puede ser la causante de problemas del aprendizaje en el lenguaje y la comunicación.

Un modo de detectar el comportamiento de los sistemas de neuronas espejos fue ensayado por Ramachandran and Altschuler, a través de la detección de Ondas MU a partir de

Electroencefalografía (EEG). Cuando la persona realiza una actividad neuromuscular, estas ondas cerebrales se inhiben y lo mismo sucede con quien la observa a través del mecanismo de neuronas espejo. La detección temprana de las deficiencias en los sistemas de redes neuronales espejo podría permitir la aplicación temprana de terapias comportamentales, de manera tal que sean más efectivas.

Otra perspectiva interesante se abre con la aplicación de técnicas de neuro-realimentación, a través del seguimiento y la medición del "índice MU", a partir de ciertos ejercicios diseñados específicamente para este tipo de síndrome. El planteo de Ramanchandran y de su equipo de colaboradores en la UCLA, así como Robert Davis en Harvard, es que la capacidad dendrítica de las neuronas espejo se puede aumentar solamente a partir del entrenamiento adecuado con "educación" y ejercitación intensa, como sucede con el resto de las neuronas. Así como los músculos se fortalecen con "ejercicio", las redes neuronales funcionan exactamente igual y, por eso, la medicación y otras terapias son tan poco efectivas.

Efectivamente, al igual que sucede con las fibras musculares, las redes neuronales se fortalecen o debilitan de acuerdo al tipo y nivel de uso que le damos. Un hallazgo sumamente importante de los últimos años es que el "entrenamiento" adecuado de las redes neuronales fortalece su capacidad dendrítica y de conexionado. En muchos experimentos de "neuro-feedback" se ha visto que ya a partir de ochos semanas de entrenamiento intenso, las personas van desarrollando nuevas sinapsis y capas dendríticas que permiten morigerar y atenuar su nivel de hiper-reactividad originado en los circuitos que "cablean" zonas específicas del cerebro. Se estima que cuanto más tempranamente se inicien estas acciones para "educar" al cerebro "intenso", mejor será la respuesta en la recuperación de las personas. Los análisis de imágenes demuestran fortalecimientos de capas dendríticas de varias micras de espesor luego de tres meses de neuroestimulación adecuada.

Plataformas biométricas de la Afectividad

Una interface aBCI tiene como objetivo central lograr el registro de las respuestas afectivas que tienen las personas ante estímulos que las pueden llevar por distintos tipos de estados emocionales (Fig. 1).

A partir de este registro, el sistema propone distintos tipos de respuestas adaptativas que estarán en consonancia con los objetivos para los cuales fue diseñado el sistema, que pueden ser muchos, de acuerdo al campo de actividad en el que el mismo se quiera aplicar.

Fig. 1. Típico ambiente experimental con aBCI.

Básicamente una interface aBCI tiene cuatro componentes modulares básicos:

- El Módulo de Sensores Biométricos: es el que define los parámetros a medir, de acuerdo al tipo de investigación que estemos realizando o al perfil de las personas que estamos analizando. Si por ejemplo deseamos estudiar una emoción en particular, como la ira, las características biométricas de ella serán el aumento de la frecuencia cardíaca, la transpiración, el aumento de la frecuencia respiratoria y la fijación de la mirada en el adversario. Para definir sus indicadores principales podríamos medir la señal electrocardiográfica, la respuesta galvánica de la piel, la resistencia toráxica y el punto de fijación de la visión. En el caso particular de las personas con ASD, su expresión

emocional se ve más dificultada y, por eso, es sumamente importante este tipo de estudio sobre ellos.

- El Módulo de Conversión Analógica/Digital: adecua la señal biológica proveniente del sensor para su apropiada digitalización, y en sincronía con el resto de las otras. La medición de sincronías y la capacidad del software para establecer patrones de mapeo cerebral es otra de las funciones centrales de este sistema.
- El Módulo de Procesamiento Local: es una computadora que está conectada directamente a la interface aBCI para realizar el almacenamiento y el procesamiento de datos de manera local, en búsqueda de patrones específicos, en aplicación de software de diseño para análisis de señal o bien para la aplicación de algoritmos de diversa naturaleza.
- El Módulo de Plataformas de Big Data: sirve a los fines de realizar distintos tipos de análisis en plataformas dedicadas al procesamiento masivo de este tipo de señales como por ejemplo el procesamiento de rostros o respuestas emocionales ante estímulos de videos cortos estandarizados.

Las mediciones biométricas habitualmente realizadas a través de esta plataforma son:

- Respuesta Galvánica de la Piel

Nuestro cuerpo tiene alrededor de tres millones de glándulas sudoríparas. La densidad de las glándulas sudoríparas varía marcadamente a través del cuerpo. Es más alta en la frente, las mejillas, las palmas, y en los dedos como en la planta de los pies. Cada vez que las glándulas sudoríparas se activan y se vuelven más activas, secretan humedad a través de los poros hacia la superficie de la piel. Este cambio en la conductancia de la piel generalmente se denomina respuesta galvánica de la piel (GSR, Galvanic Skin Response).

- Frecuencia cardíaca

El ritmo o frecuencia cardíaca nos brinda información sobre el nivel de estrés que puede tener una persona, como respuesta ante un evento que ella percibe como peligroso, y su organismo responde buscando las condiciones de lucha o escape. En ambos casos, la frecuencia cardíaca aumenta, a fin de que nuestros músculos dispongan de más oxígeno en

sangre que será necesaria para un sistema neuro-muscular activo, y un cerebro que tiene que calcular y tomar decisiones rápidamente.

- Presión arterial

Una gran cantidad de estados emocionales se manifiestan a través de sistemas de “arousals”, que conllevan el aumento de la presión arterial, a raíz de la contracción simpática del conjunto del árbol arterial. En este contexto emocional transitorio, la presión arterial es un indicador de alerta o estrés que se puede convertir en crónico si estos estados son demasiado repetitivos.

- Señal electroencefalográfica

La señal electroencefalográfica (EEG, ElectroEncephaloGram) es sumamente importante desde el punto de vista de las aBCI, porque nos brinda una cantidad muy importante de información en tiempo real de lo que está sucediendo en la corteza cerebral de la persona que estamos estudiando y analizando, desde el punto de vista de su emocionalidad. Las distintas bandas de frecuencia del EEG nos dan indicadores del estado general del sistema nervioso central. Existen una cantidad importante de hallazgos y relaciones entre bandas, como la alfa, tita, delta y gama, y estados emocionales específicos. Los complejos de onda Mu asociados al funcionamiento de las neuronas espejo, también son un parámetro interesante a medir en función de la respuesta social o empática de las personas ante determinados estímulos o situaciones.

- Fijación visual

La fijación visual es un parámetro importante a medir porque diversos estados emocionales presentan distintos comportamientos de la gestión de nuestro sistema visual. La fijación visual es un indicador de como gestionamos nuestra atencionalidad, y este tipo de información es sumamente importante como diferenciador de patrones de conducta en procesos que van desde la educación, la perceptualidad global a las conductas de consumo y relación con los demás. Los sistemas de registro visual (eye tracking) tienen cada vez más aplicaciones en diversos campos de actividad, y en el

caso de personas con ASD el análisis de su conducta visual es sumamente importante.

- Reconocimiento de emociones en rostros

Nuestra cara es una parte intrincada y altamente diferenciada de nuestro cuerpo; de hecho, es uno de los sistemas de señales más complejos que existen en el ser humano. Para el cerebro, el rostro es algo importante porque con el transcurso del tiempo el mismo se fue especializando en transmitir información al resto de la "horda" y, en algunos casos, de esta información dependía la propia vida o la de los demás congéneres, aun antes de haber desarrollado el lenguaje que nos caracteriza como humanos. Nuestro rostro incluye más de 40 músculos estructuralmente y funcionalmente autónomos, cada uno de los cuales se puede activar de forma independiente el uno del otro, y nuestro cerebro tiene un sistema de procesamiento de rostros en la zona del girus inferior. Los sistemas de reconocimiento emocional a través de la expresión facial son sumamente antiguos, y su principio de funcionamiento se basa en que nuestra emotividad se expresa ancestralmente a través de engramas musculares en el rostro, que son los que definen una emoción particular. El avance de la tecnología en los últimos cinco años ha hecho avanzar este campo disciplinar de manera increíble.

- Electromiografía

La electromiografía o EMG (ElectroMyoGraphy) puede rastrear la actividad de los músculos con electrodos adheridos a la superficie de la piel, y así puede detectar y amplificar los pequeños impulsos eléctricos generados por las fibras musculares respectivas durante la contracción. La EMG nos da una idea bastante precisa del estado de tensión que puede tener un cierto grupo muscular, o la reacción preferencial sobre un grupo de ellos a partir de percibir una determinada emoción.

- Potenciales evocados

Los potenciales evocados son respuestas del sistema nervioso central que se registran a través de sistemas de electroencefalografía, y que nos dan una idea de cómo está trabajando una determinada vía nerviosa, ya sea esta auditiva, visual o periférica. En los potenciales evocados se

produce un estímulo cuya respuesta es registrada por el equipo de EEG, y la latencia entre el estímulo y la aparición de ese potencial nos puede dar mucha información acerca de lo que está sucediendo en el sistema nervioso central (SNC, Central Nervous System) de la persona. Los potenciales evocados N150 y N200 demostraron comportamientos similares en expresiones relacionadas con la tristeza y la alegría, lo que confirma la existencia de neuronas especializas en el reconocimiento de la expresión facial, independientemente de la identidad de las personas. En el caso particular del ASD los potenciales evocados cognitivos asociados al reconocimiento del rostro se ven afectados seriamente, y son otro indicador más de la profundidad y, también, la evolución terapéutica de esta patología.

Experimento piloto

En el CeReCoN (Centro Regional de Investigación y Desarrollo en Computación y Neuroingeniería) de la Universidad Tecnológica Nacional, en Mendoza, Argentina, se están desarrollando experiencias y tecnología de interfaces aBCI. Básicamente, el proyecto piloto que aquí se presenta es un sistema de reconocimiento y de clasificación de patrones de señales bioeléctricas orientado al tratamiento de personas con trastornos de atención, como base hacia plataformas más complejas que permitan la definición y clasificación de sistemas de un "Índice MU" asociado al ASD y, luego, su correlación y seguimiento con plataformas de neurofeedback, que permitan realizar "entrenamientos" o sesiones de terapia activa del paciente, en escenarios de ambiente controlado, con el uso de entornos 3D, realidad virtual y fotometría de escénica modelada en 3D de su vida cotidiana.

Para la obtención de las señales se utilizó una interfaz cerebro-máquina no invasiva InterAxon Muse, de 4 electrodos (un electrodo de referencia) ubicados sobre las locaciones TP9, AF7, AF8 y TP10, según el estándar 10-20 (Fig. 2). Con esta interfaz se tiene un volumen de 1024 muestras instantáneas por segundo de campo eléctrico generado en la corteza cerebral. Para leer los datos se conectó la interfaz a

una PC a través de Bluetooth, con una librería de código abierto.

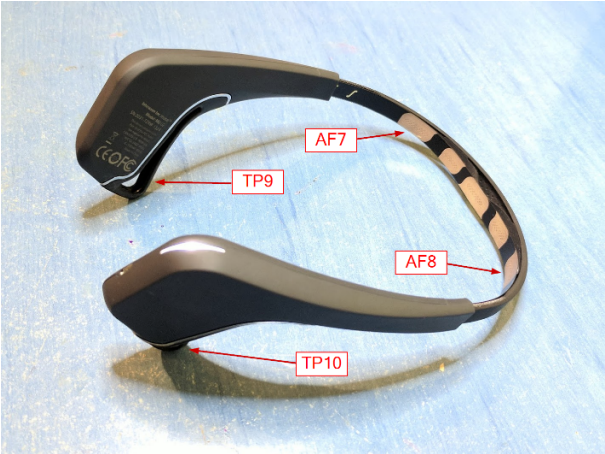


Fig. 2. Ubicación de los electrodos en la interface ABCI.

El conjunto de señales fue utilizado para determinar patrones del estado emocional y mental del sujeto, entrenando modelos de aprendizaje automático. Para ello, se efectuaron lecturas temporales de la señal EEG de un sujeto que observaba un video, y experimentaba las emociones que el video intentaba inducir. Para la correcta clasificación se estimó un número de 40 videos por sujeto, para lograr un buen volumen de datos y una clasificación satisfactoria. Al efecto se desarrolló una aplicación para mostrar los estímulos en forma de video con audio, y para recoger la respuesta al estímulo. Para cada sujeto se realizaron dos sesiones: una con estímulos positivos y neutros, y otra con estímulos negativos y neutros. Se consideraron dos técnicas de aprendizaje automático: Análisis Discriminante Lineal y Máquinas de Vectores de Soporte. Se pudo discriminar la excitación alta versus baja y la valencia positiva contra negativa, según el modelo de emoción bidimensional (Fig. 3). La mejor precisión de clasificación promedio de 91.77% se obtuvo utilizando el método LDA (Linear Discriminant Analysis), cuando el número de dimensiones de las funciones se reduce a 30. Las principales

50 características independientes del sujeto más relevantes para la emoción se seleccionaron por el método CFS (Correlation-based Feature Selection).

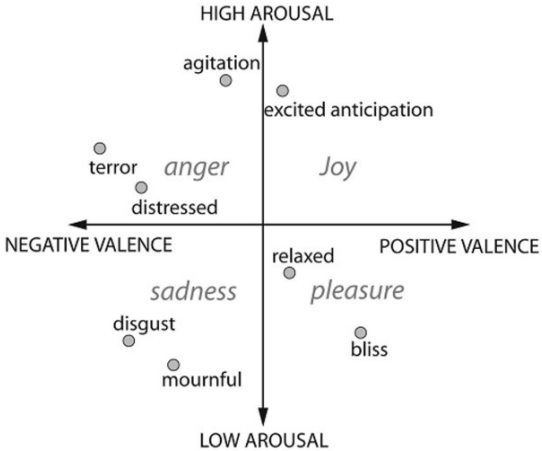


Fig. 3. Modelo de Emoción Bidimensional.

A través de las características independientes del sujeto, se encontró que el EEG relacionado con la emoción se produce principalmente en el lóbulo occipital derecho y lóbulo parietal para la banda alfa, el lóbulo parietal y lóbulo temporal para la banda beta, y el lóbulo frontal izquierdo y lóbulo temporal derecho para la banda gamma.

Actualmente, se está en el desarrollo de una interface dedicada al análisis general del estado emocional del paciente con ASD, pero proveyendo datos e indicadores de respuesta que puedan ser utilizados por el terapeuta, para diseñar una gama importante de ejercicios, que fortalezcan las capacidades emocionales de estos pacientes. Para lograr esto, el sistema pretende determinar indicadores del ASD través de la medición de ondas cerebrales y, en particular, el complejo MU que está correlacionado con la maduración de las neuronas espejo. Además, se propone el modelado de escenarios de "intensidad controlada", en los que, a modo de "simuladores", la persona con ASD se va "entrenando" en el

manejo de situaciones que originalmente la "desbordan", y la llevan a desadaptaciones con sus vínculos familiares y/o sociales.

Desde nuestra perspectiva, es posible hablar de una "tecnología de neurorehabilitación" que permitirá un abordaje innovador e integrador de la problemática del ASD asociada al mal o escaso desarrollo de las redes neuronales espejo, y a la re-educación en la hipersensibilidad a los entornos físicos y afectivos que sufren las personas con este tipo de síndrome. Además, es probable que este método de diagnóstico permita establecer diferentes subclases de trastorno del espectro autista (TEA) más homogéneas que las que se emplean en la actualidad. El entrenamiento cotidiano con este tipo de tecnología permitiría el "recableado" (neuroplasticidad-neurogénesis) y fortalecimiento de zonas o redes neuronales "deprimidas" o poco desarrolladas, que parecen ser la causa central de muchas de los cuadros más leves del síndrome. Se puede hablar, entonces, de una mejora adaptativa de quienes padecen este tipo de síndrome que afecta a una cantidad enorme de la población. Esta componente de la aBCI es sumamente importante, porque precisamente es el núcleo a partir del cual el terapeuta podrá analizar el comportamiento socio-emocional de su paciente con ASD, y en el análisis de su interacción con el avatar o asistente artificial se podrán observar avances o retrocesos de cada tratamiento específico.

Conclusiones

La plataforma biométrica que se presenta en este trabajo, como proyecto piloto, es un sistema de reconocimiento y de clasificación de patrones de señales bioeléctricas orientado al tratamiento de personas con trastornos de atención, y que es utilizado como base para una plataforma superior y compleja que facilite el diagnóstico y tratamiento de pacientes con trastornos del espectro autista.

Esto abrirá un nuevo estilo de investigación y tratamiento efectivo de este tipo de patologías cuyo abordaje aún es demasiado empírico y carente de indicadores claros de

progreso. Efectivamente, la medición de parámetros objetivos relacionados con los procesos neurofisiológicos de la emocionalidad y de las redes, tanto estructurales como funcionales, que definen nuestro comportamiento cerebral, son el futuro sobre el que se sustentarán no solamente las investigaciones en salud mental sino también en educación, psicología, sociología, industria, marketing, teorías de conflicto.

Los robots y vehículos que adecuarán su comportamiento al estado emocional de los usuarios, los sistemas de aprendizajes adaptativos que se autodefinirán en función de la aptitud emocional de los alumnos, o asistentes artificiales de neurorehabilitación adaptativa que trabajarán en múltiples áreas de la salud, son algunos de estos dispositivos que surgirán en el futuro en base al diseño y la producción de productos basados en tecnología afectiva. La tecnología de la afectividad se encuentra aún en sus primeros pasos, aunque, entendemos que en un futuro no muy lejano, los campos de aplicación de esta tecnología serán enormes

Referencias

A. Alvarez Abril, “The Emotional Brain”, CERECON – National Technological University. www.irbutn.org.

Anna Lambrechts, Sebastian Gaigg, Kielan Yarrow, “Temporal dynamics of speech and gesture in Autism Spectrum Disorder”, 5th IEEE Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom) 2014, Vietri sul Mare, Italy, 5-7 Nov. 2014

Ardiana Sula, Evjola Spaho, Keita Matsuo, “An IoT-Based System for Supporting Children with Autism Spectrum Disorder, “Eighth International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA) 2013, Compiegne, France, 28-30 Oct. 2013.

Arodami Chorianopoulou, Efthymios Tzinis, Elias Iosif, “Engagement detection for children with Autism Spectrum Disorder”, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) 2017, New Orleans, LA, USA, 2017.

B. Hamadicharef, “Brain-computer interface (BCI) literature bibliometric study”, in Proc. 10th Int. Conf. Inf. Sci. Signal Process. Appl., 2010, pp. 626–629.

David. R. Gruber, “Neurorhetoric and the Dynamism of the Neurosciences: Mapping Translations of Mirror Neurons Across the Disciplines, (Under the direction of Dr. Jason Swarts).

Grace Leslie, Alejandro Ojeda, Scott Makeig, “Towards an Affective Brain-Computer Interface Monitoring Musical Engagement”, Humaine Association Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII) 2013, Geneva, Switzerland, 2-5 Sept. 2013

J. M. Allman, “Evolving Brains”, SCIENTIFIC AMERICAN LIBRARY A division of HPHLP New York. 2015.

Klin A (2006). «Autism and Asperger syndrome: an overview». Rev Bras Psiquiatr 28 (suppl 1): S3-S11. PMID 16791390. doi:10.1590/S1516-44462006000500002.

M. Siracusa and F. Avila, “Clasificación de Patrones Bioeléctricos con Métodos de Aprendizaje de Máquinas”, Proyecto Final de Grado, Ingeniería en Electrónica, Instituto Regional de Bioingeniería, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, 2017.

Maciel Vidal and Suzana de Siqueira Santos, “Complex network measures in Autism Spectrum Disorders”, IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics (Volume: PP, Issue: 99), 03 September 2015

Mengwen Liu, Yuan An, Xiaohua Hu, “An evaluation of identification of suspected autism spectrum disorder (ASD) cases in early intervention (EI) records”, IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM) 2013, Shanghai, China, Dec. 2013.

National Institute of Mental Health, “Guía para padres sobre el Trastorno del Espectro Autista», DSM-5., https://www.psychiatry.org/psychiatrists/practice/dsm

Nicoleta Bugnariu, Carolyn Garver, Coen de Weerd, “Motor function in children with Autism spectrum disorders”, International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR) 2013 , Philadelphia, PA, USA, 26-29 Aug. 2013

Reza Khosrowabadi, Abdul Wahab, Kai Keng Ang, “Affective computation on EEG correlates of emotion from musical and vocal stimuli”, International Joint Conference on Neural Networks, 2009. IJCNN 2009, Atlanta, GA, USA, 14-19 June 2009.

Rizzolatti, Giacomo; Craighero, Laila, "The mirror-neuron system", (PDF), Annual Review of Neuroscience. 27 (1): 169–192, PMID 15217330, (2004).

S. Nishimoto, A. T. Vu, T. Naselaris, Y. Benjamini, B. Yu, and J. L. Gallant, “Reconstructing visual experiences from brain activity evoked by natural movies, Current Biol., vol. 21, no. 19, pp. 1641–1646, 2011.

Shibo Qin, Yukie Nagai, Shinichiro Kumagaya, “Autism simulator employing augmented reality: A prototype”, Joint IEEE International Conferences on Development and Learning and Epigenetic Robotics (ICDL-Epirob) 2014, Genoa, Italy, 13-16 Oct. 2014.

Tarun Dash, Vinayak Jaiswal, Anoosha Sagar, “Analyzing associativity among mirror neurons for financial profiling: A proposal”, International Conference on Computing Communication Control and automation (ICCUBEA) 2016, Pune, India, 2016.

Taylor LE, Swerdfeger AL, Eslick GD (junio de 2014). «Vaccines are not associated with autism: an evidence-based meta-analysis of case-control and cohort studies». Vaccine 32 (29): 3623-9. PMID 24814559. doi:10.1016/j.vaccine.2014.04.085. Resumen divulgativo – news.com.au.

The Royal Socieity, “Neuroscience: implications for education and lifelong learning”. Science Policy Center. 2011.

V. S. Ramachandran and Altschuler, E.L,“ The Use of Visual Feedback, in Particular Mirror Visual Feedback, in Restoring Brain Function, Brain, 132, 1693-1710. http://dx.doi.org/10.1093/brain/awp135, 2009.

Valdez, D. y Ruggieri, V. “Introducción. En Autismo del diagnóstico al tratamiento” (pp. 13-17), Buenos Aires: Paidos, 2011.

Wenbo Liu, Xhiding Yu, Bhiksha Raj, “Efficient autism spectrum disorder prediction with eye movement: A machine learning framework”, International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII) 2015, Xi'an, China, 21-24 Sept. 2015

Y. Wang and T. P. Jung, “A Collaborative brain-computer interface for improving human performance”, PLoS ONE, vol. 6, no. 5, e20422, 2011.

Z. Sosic-Vasic, M. Spitzer “Trends in Neuroscience and Education”, El Servier Journal. Vol. 1. ISSN: 2211-9493. 2016.

* * *

14

Una Introducción a la Topología Molecular

Marcela Rodríguez, Ana María Narvaez

Resumen: El propósito de este trabajo es realizar una introducción a la Topología Molecular y analizar la posibilidad de su implementación en las cátedras relacionadas con química en las carreras de ingeniería de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. Se puede abordar el tema realizando un trabajo interdisciplinario entre el álgebra lineal y la química. La Topología Molecular sirve para encontrar correlaciones entre una propiedad física, química o biológica y estructuras moleculares, basándose en la caracterización numérica de éstas mediante unos descriptores topológicos llamados índices topológicos. Así, la información estructural permite la explicación y predicción de propiedades físicas y químicas. La Topología Molecular consiste en representar a las moléculas como un grafo molecular, construir una matriz topológica y obtener índices topológicos numéricos a partir de esa matriz que permiten caracterizarlas estructuralmente. Una vez obtenido un índice (o varios), se establecen correlaciones entre ellos y diferentes propiedades moleculares, para grupos de compuestos más o menos homogéneos. Las funciones de correlación obtenidas entre los índices y las propiedades se denominan "funciones de conectividad". Si se calculan entonces los valores de los índices de nuevas moléculas, que no se hayan utilizado en la correlación y se sustituyen en la ecuación, se podrá predecir el valor de las propiedades de las mismas, que incluso puede aún no tener una existencia física. En esta etapa de la investigación se está analizando la posibilidad de implementación de la Topología Molecular en temas como cinética química.

Palabras claves: Topología Molecular, grafos moleculares, índices topológicos.

Introducción

La Topología Molecular es una disciplina que relaciona la estructura química de una serie de compuestos y sus actividades farmacológicas, físico-químicas y/o toxicológicas.

Sirve para la predicción de propiedades de compuestos, los cuales pueden incluso aún no tener una existencia física.

La topología puede definirse como aquella parte del álgebra que estudia las posiciones e interconexiones de los elementos dentro de un conjunto. Aplicada a las moléculas, ha dado origen a una nueva disciplina llamada Topología Molecular, que analiza cuales son las posiciones de los átomos dentro de las moléculas. Desde este punto de vista no se aborda el estudio de aspectos tales como la estructura tridimensional del compuesto, los tipos de enlaces, ángulos entre ellos y, a veces, ni siquiera la naturaleza de los átomos enlazados. La cuestión fundamental estriba en qué átomo está ligado a cualquier otro y cuál es el camino para ir de un átomo a otro dentro de la molécula.

El método topológico emplea los llamados "índices" (valores numéricos) para caracterizar estructuralmente un compuesto. Dichos índices se pueden obtener a partir del tratamiento matemático de las matrices asociadas a la teoría de grafos.

Una vez obtenido un índice (o varios), se establecen correlaciones entre ellos y diferentes propiedades moleculares, para grupos de compuestos más o menos homogéneos. Las funciones de correlación obtenidas entre los índices y las propiedades se denominan "funciones de conectividad". Si se calculan entonces los valores de los índices de nuevas moléculas, es decir no utilizadas en la correlación y se sustituyen en la ecuación, se podrá predecir el valor de las propiedades para nuevas moléculas, que incluso puede aún no tener una existencia física.

Antecedentes

El primer índice topológico capaz de caracterizar la ramificación de las moléculas fue propuesto por Weiner (Wiener, 1947). El índice se basaba en la noción topológica de distancia, entendiendo por ésta el número de enlaces de átomos por el camino más corto, este índice es mayor para moléculas con más átomos y a su vez es mayor para moléculas extensas. Desde el principio mostraba muy buena

correlación con ciertas propiedades fisicoquímicas sencillas (temperatura de ebullición, viscosidad, tensión superficial, índice de refracción). Posteriormente se demostró su aplicabilidad con propiedades mucho más complejas, como energías de enlace de algunas moléculas complejas como los hidrocarburos policíclicos aromáticos, lo que posibilita la predicción de propiedades como la conductividad eléctrica, afinidad electrónica y longitudes de onda de absorción, para compuestos aún no sintetizados en laboratorios.

Desde la década del 40 se han definido muchos índices, los que han demostrado un mayor eficacia en diferentes aplicaciones son los llamados "índices de conectividad molecular" introducidos por Kier y Hall (Kier, 1976a) como generalización del índice de Randic (Randic, 1975).

A partir de los índices de conectividad se desarrolló el método conocido como Conectividad Molecular. Dada su importancia, son los que se describirán en este trabajo.

El concepto de ramificación era una idea intuitiva, pero Milan Randic obtuvo una descripción numérica de la ramificación de las estructuras basándose en el concepto matemático de la teoría de grafos, describiendo así un índice relacionado al concepto topológico de grado de vértice (numero de ejes o aristas a los que se haya unido un vértice). Este índice se correlaciona con propiedades físicas como solubilidad, densidad, calor de vaporización, y lo que es más importante con un número elevado de propiedades biológicas tales como, olor, sabor y capacidad de actuar como anestésico, narcótico y alucinógeno.

El método de Conectividad Molecular mediante el empleo de los índices de conectividad, permite la predicción de propiedades físicas, como puntos de ebullición, refracción molar, calor de vaporización y cromatográficas. Estos resultados demuestran la gran capacidad del método topológico tanto para describir como para predecir propiedades. Se desarrollaron estudios posteriores que analizan la similitud entre moléculas y su aplicación en el estudio de distintas propiedades y diseño molecular.

Teoría de grafos aplicada a estructuras moleculares

La aplicación del concepto algebraico de teoría de grafos aplicado a la descripción de estructuras moleculares es la topología molecular. Un *grafo* es un conjunto de puntos (llamados *nodos* o *vértices*) con algunos pares de ellos conectados mediante uniones llamadas *aristas* o *ejes*. Los nodos del grafo *G* se enumeran arbitrariamente y se denotan por $\varepsilon_{i,j}$, refiriéndonos al eje que une *i* con *j*. Se utiliza *N* para denotar el número de nodos de un grafo, mientras que *E(G)* representa el conjunto de ejes y $/E(G)/$ su cardinalidad, es decir el número de ejes de *G*. Si dos nodos están conectados por un eje, se llaman *adyacentes*. El número de ejes que salen de un nodo se llama *grado* del nodo.

Un *camino* o *trayectoria p* en *G* es el subgrafo obtenido al conectar consecutivamente varios nodos adyacentes; si, además, conectamos el primer nodo al último nodo de *p*, se obtiene un *ciclo*. La *longitud* de un camino o ciclo es el número de ejes que lo componen.

Cuando la teoría de grafos se aplica a moléculas, los nodos representan átomos y las aristas, enlaces químicos, El grafo resultante que nos dice como están ligados los átomos y el camino (o caminos) que une (n) un átomo a otro en una misma molécula, se llama *grafo molecular.*

Se obtienen también los grafos de hidrógeno suprimido, en la que los vértices representan átomos de carbono y se suprimen los átomos de hidrógeno. En la figura 1 se muestra el grafo molecular de la molécula de bromopropanol:

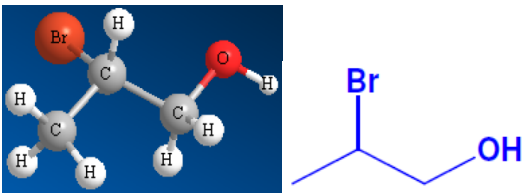


Figura 1. Molécula de bromopropanol y su grafo molecular.

Matrices topológicas asociadas a grafos moleculares

El primero en demostrar que una molécula podía ser representada por una matriz fue el matemático Sylvester (Sylvester, 1874) que utilizó la matriz topológica o matriz adyacente. Entre las diferentes matrices asociadas a los grafos moleculares, cabe destacar las siguientes por su sencillez de cálculo: matriz de adyacencia y matriz de distancia.

Matriz de adyacencia

Dicha matriz indica que pares de nodos están unidos por aristas, si la molécula consta de *N* átomos, la matriz de adyacencia del grafo molecular *G*, *A = A(G)* es una matriz *N* x *N* simétrica cuyas componentes son

$$A_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ si los átomos } i \text{ y } j \text{ están ligados,} \\ 0 \text{ en caso contrario.} \end{cases}$$

Matriz de distancia

La matriz de distancia D = D*(G)*, es una matriz *NxN* simétrica cuyas componentes son las distancias topológicas. Se define:

$$D_{ij} = \begin{cases} \text{longitud mínima de los caminos que unen } i \text{ y } j\text{, si } i \neq j \\ 0\text{, si } i = j \end{cases}$$

Así, D proporciona una imagen cualitativa de las relaciones de proximidad o lejanía entre los átomos de la molécula. La suma de las distancias topológicas entre el vértice *i* y todos los demás vértices del grafo molecular, se llama *suma de las distancias* del vértice *i*

Una vez construida la matriz de adyacencia, se obtiene la valencia δi, de cada vértice. La valencia de cada vértice es el número de ejes que convergen en él, lo que es igual a la

suma de los términos que hay en la fila o columna correspondiente a dicho vértice. Como se aprecia, es una expresión matemática que relaciona la estructura con una descripción numérica. Su importancia en los estudios estructura – actividad radica en que a partir de ella se calculan la mayoría de los índices topológicos.

$$DS_i = \sum_{j=1}^{N} D_{ij} = \sum_{j=1}^{N} D_{ji}$$

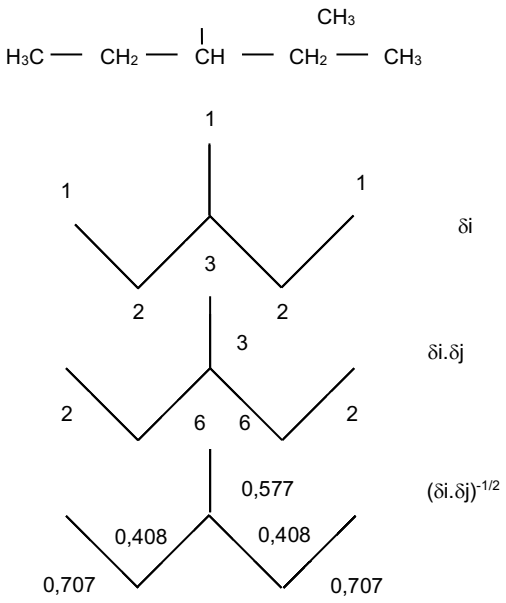
Índices topológicos

El método topológico emplea una serie de números llamados "índices" para caracterizar estructuralmente a un compuesto. Para definirlos, el primer paso es representar el grafo de la molécula, construyendo a continuación la matriz topológica. A partir de esta matriz, por medio de los algoritmos adecuados, se obtienen la mayor parte de los índices topológicos. Estos son, por lo tanto, descriptores numéricos de la estructura molecular, que se obtienen de la manipulación algebraica del grafo, son por tanto invariantes.

A continuación se describe el índice de Randic por ser uno de los índices más significativos.

Índice de randic

Se basa en la matriz de adyacencia. Se define como la suma, para todos los ejes del grafo, de los inversos de las raíces cuadradas de los productos de las valencias de los vértices adyacentes que limitan cada eje. Este índice aporta información sobre la ramificación mayor o menor de la molécula; así, cuanta mayor ramificación mayor será el índice. La figura 2 refleja el procedimiento para el cálculo del índice de Randic para el 3metilpentano:



$$\chi = \sum \left(\delta_i \delta_j\right)^{-1/2} = 2{,}807$$

Figura 2. Cálculo del índice de ramificación de Randic para el 3metilpentano.

Conectividad molecular

La conectividad molecular podemos definirla como un método de cuantificación de la estructura molecular en el que los cálculos del aporte de los fragmentos de las subestructuras son convertidos en índices numéricos. Propiedades moleculares tales como tamaño, ramificación, insaturaciones, contenido de heteroátomos y ciclación son cuantificables y codificables mediante esta técnica.

Su importancia estriba en que su adecuada transformación matemática origina una serie de valores o números que caracterizan las subestructuras de la molécula, este número

se llama índice topológico e indica la conectividad. Existirán diferentes índices topológicos que describen diferentes aspectos de la molécula y que son independientes de la forma en que se haya dibujado el grafo por lo que se denominan invariantes de grafo. De esta manera, es posible asignar algún valor numérico a los grafos de las moléculas de modo que estas diferencias estructurales puedan cuantificarse. Una vez que se cuantifican se obtienen correlaciones significativas con propiedades físicas, químicas e incluso biológicas, relaciones denominadas Funciones de Conectividad.

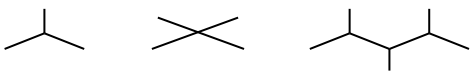
Índices de conectividad a partir del índice de Randic

Para definir los índices de conectividad a partir del de Randic, es necesario introducir antes el concepto de subgrafo, entendiendo por tal cualquier parte de un grafo constituido por sus vértices o bien por uno o varios ejes interconectados. Los subgrafos se clasifican según su orden *m* y su tipo *t*. El orden es el número de ejes que contiene, los enlaces múltiples deben considerarse como simples.

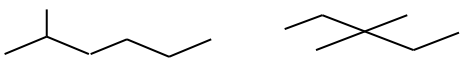
Los subgrafos se clasifican en cuatro tipos:

-Tipo I o de tipo PATH (*p*). Las valencias de sus vértices son menores o igual a 2, sin formar un ciclo.

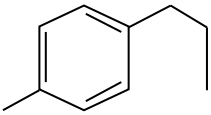
-Tipo II o tipo CLUSTER (*c)*. El subgrafo presenta algún vértice de valencia 3 ó 4 pero no de valencia 2, sin formar un ciclo.



-Tipo III o tipo PATH-CLUSTER (*pc*). Como su nombre indica es una combinación de los dos anteriores, es decir, hay vértices con valencia 3 ó 4 y con valencia 2.



-Tipo IV o tipo CHAIN (ch). Formado por secuencias de enlaces conteniendo al menos un ciclo.



La figura 3 muestra los distintos subgrafos del isopentano (trazos continuos).

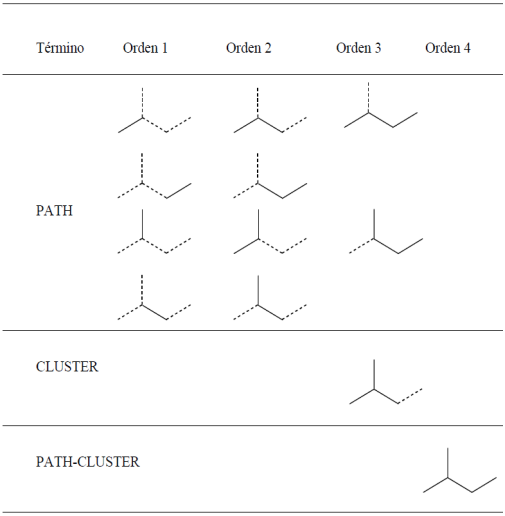


Figura 3. Representación de los subgrafos del isopentano (trazos continuos). Fotografía de Galvez.

Los índices de conectividad $m\chi_t$ corresponden en cada caso a la suma, para todos los subgrafos de tipo *t* y orden *m*:

$$m_{\chi_t} = \sum_{j=1}^{n_m} m_{S_j}$$

donde n_m es el número del subgrafo de tipo *t* y orden *m.*

Los términos m_{Sj} de cada subgrafo se definen como el inverso de la raíz cuadrada del producto de las valencias de cada uno de los vértices integrantes del subgrafo:

$$m_{S_i} = \left[\prod_{i=1}^{m+1} (\delta_i) \right]^{-1/2}$$

donde *j* define cada uno de los subgrafos y *δi* depende del tipo de subgrafo, de forma que los de orden *m* están definidos por *m+1* vértices siendo *m* el orden del subgrafo, excepto los de tipo Chain que lo están por *m* vértices como máximo. Es decir, los índices de conectividad se obtienen como suma, para todos los subgrafos de un mismo tipo, de los inversos de las raíces cuadradas de los productos de las valencias de los vértices adyacentes que forman parte de cada subgrafo. De todo ello se deduce que los índices de conectividad son una medida de la valencia de los grafos conectados.

A continuación se describe detalladamente el cálculo y significación estructural de cada uno de los índices.

-índice de orden 0 ($^0\chi$)

Un subgrafo de orden cero consiste en un vértice aislado sin ningún tipo de enlace entre ellos. Por lo tanto $^0\chi$ es igual a la suma del inverso de la raíz cuadrada de las valencias de todos los vértices del grafo:

$$^0\chi = \sum_{i=1}^{m+1} (\delta_i)^{-1/2}$$

Hay un solo tipo de vértice, representado por su valencia *δi*. Por lo tanto, hay un solo tipo de subgrafo de esta clase (grupo metileno). Para series homologas este índice aumenta $2^{-1/2}$ = 0,707 por la adición de cada grupo metileno. En su cálculo no se utilizan relaciones de adyacencia, siendo una simple medida del número y tipos de puntos de enlace de una molécula. Este índice, como se desprende de su propia formulación, da una idea del tamaño de la molécula y

depende únicamente del número de átomos de carbono aumentando con la longitud de la cadena carbonada, pero no refleja, al menos de manera directa, ramificación o ciclación. Dada su naturaleza, presenta el mismo valor para un amplio número de compuestos.

-índice de primer orden ($^1\chi$)

El índice de primer orden engloba todos los enlaces del grafo. Es la suma de todos los ejes del grafo, medidos como el inverso de la raíz cuadrada del producto de las valencias de los dos vértices adyacentes en el enlace. Hay sólo un tipo de eje y por tanto un solo tipo de subgrafo de orden uno:

$$^1\chi = \sum_{s=1}^{n} (\delta_i \delta j)^{-1/2}$$

donde el número de enlaces del grafo es *n*, y cada enlace viene determinado por los vértices *i* y *j*. Como se ve por su formulación, este índice $^1\chi$ coincide con el de ramificación de Randic. Sólo existe un tipo de subgrafo de primer orden y dado que la relación de adyacencia entre átomos vecinos se tiene en cuenta para su obtención, posee mayor capacidad para distinguir entre isómeros.

-índice de segundo orden ($^2\chi$)

Los subgrafos de este orden contienen pares de conexiones, es decir, ejes adyacentes de un único tipo: el tipo path. Cada término contiene el recíproco de la raíz cuadrada del producto de las valencias del grafo para los tres vértices *i, j* y *k* que definen cada subgrafo de orden dos, es decir:

$$^2\chi = \sum_{s=1}^{n} (\delta_i \delta j \delta_k)^{-1/2}$$

donde *n* es el número de subgrafos de orden 2 y *s* identifica a un subgrafo en particular. Este índice describe la presencia de ramificación o ciclación. Otros autores proponen este índice

como una medida de las formas estructurales de los dobles enlaces. En alcanos no se han detectado redundancias en los valores de $^{2}\chi$ y esto parece que puede generalizarse para todas las moléculas orgánicas.

-índice de tercer orden ($^{3}\chi$)

Este índice engloba tres tipos de términos: path, cluster y chain, siendo su expresión matemática la siguiente:

$$^{3}\chi = \sum_{s=1}^{n} (\delta_i \delta_j \delta_k \delta_l)_s^{-1/2}$$

donde n es el número de subgrafos de orden tres de cada tipo, y s designa a un subgrafo en particular, formado por los ejes entre los cuatro vértices *i, j, k* y *l* unidos entre sí por tres enlaces.

El término $^{3}\chi_{ch}$ (índice de tercer orden de tipo chain) está definido únicamente por tres vértices. Este índice refleja el grado de ramificación de los cuatro átomos que forman el subgrafo. El índice path $^{3}\chi_{p}$ refleja algunas de las diferencias existentes entre las ramificaciones de los isómeros. En el caso de moléculas orgánicas cíclicas señala y distingue entre los compuestos orto, meta y para.

Para el término $^{3}\chi_{c}$ (índice de tercer orden de tipo cluster) no se han detectado redundancias.

- Índice de cuarto orden (4χ)

Es el primer índice en el que se encuentran todos los tipos de términos: path, cluster, path-cluster y chain. Su valor se calcula con la siguiente expresión matemática

$$^{4}\chi = \sum_{s=1}^{n} (\delta_i \delta_j \delta_k \delta_l \delta_p)_s^{-1/2}$$

donde “n” es el número de subgrafos de un cierto tipo *t*, con cuatro ejes y cinco vértices (*i, j, k, l* y *p*) unidos por cuatro

enlaces, y *s* designa a un subgrafo en particular. Del término que conocemos más datos es el $^4\chi_{pc}$ (índice de cuarto orden tipo path-cluster), quizá porque sea de todos ellos el que refleja características estructurales más importantes para el comportamiento de las moléculas orgánicas. Este índice lleva información sobre el número de sustituyentes del anillo bencénico, el modo de sustitución, la longitud de los sustituyentes superiores a tres enlaces y el tipo de heteroátomos sustituyentes. Aparece siempre que existe un punto de ramificación en una cadena o anillo, aumentando su valor con la ramificación. Cada sustituyente del anillo contribuye por lo menos con dos términos a este índice. Es ideal para cuantificar las formas relacionadas con la sustitución del anillo, por ejemplo en las sustituciones orto, meta y para.

Método de la conectividad molecular

Se debe tener la suficiente información estructural de la molécula para poder establecer relaciones cuantitativas entre su estructura y sus propiedades.

Una vez calculados los índices, se obtiene la función de conectividad para una propiedad molecular $P(\chi)$, correlacionándolos con valores experimentales de la propiedad, haciendo uso de paquetes estadísticos de correlación multilineal:

$$P(\chi) = A_0 + \sum_{i=1}^{n} A_i \chi_i$$

donde A_0 y el conjunto de términos A_i representan los coeficientes de regresión de la ecuación obtenida y χi simboliza a cada uno de los índices de conectividad de un orden y tipo dado.

Si se sustituye ahora los valores de los índices χi en la función de conectividad para moléculas no utilizadas en la correlación, se podrá predecir el valor teórico de la propiedad *P* para ese compuesto, el cual puede incluso no haber sido aún sintetizado en el laboratorio.

Conclusiones

Las ventajas del Método de Conectividad Molecular son notables: bajo costo pues se trabaja con programas gratuitos, la información es relativamente accesible, se reduce el instrumental y los reactivos químicos, se reduce el estudio con animales en caso de desarrollo de fármacos.

Por lo expuesto anteriormente, es importante incorporar esta disciplina en la enseñanza universitaria. Sus ventajas son la familiarización con metodologías computacionales (diferentes sistemas operativos e interfaces gráficas, manejo de bases de datos, desarrollo del software) y en este sentido, la resolución de diferentes problemas de cómputo (compatibilidad, actualizaciones, registros, formatos de datos) así como el cambio de perspectiva en la forma de trabajo.

Un ejemplo de aplicación de la conectividad molecular es predecir la capacidad de biodegradación anaerobia de un grupo de clorofenoles, la degradación de clorofenoles es de suma importancia ambiental y es un tema específico de cinética química que se aborda en química y fisicoquímica.

Referencias

Amigó, J. M., Falcó, A., Gálvez, J. y Villar, V. (2007). "*Topología Molecular*". Bol. Soc. Esp. Mat. Apl. nº 39 (2007), pp. 135-149.

Rozas, I. (2011) *Web*. http:// www.imus.us.es/ACT/RSME-RSEQ-2011/php/rozas.pdf Accedido 2 de junio de 2017.

Villar Amigó, V., Falcó Montesinos, A., Casanova Sorní, C., Moreno Sancho, M. L., Antón Fos, G., García Doménech, R. (2015) *La topología molecular en el descubrimiento de nuevas terapias.* http://elfarmaceutico.es/index.php/la-revista/secciones-de-la-revista-el-farmaceutico/item/6622-la-topologia-molecular-en-el-descubrimiento-de-nuevas-terapias#.W1oZc7ivHIW. Accedido 3 de noviembre de 2017.

* * *

15

Recuperación de Información acelerada con Algoritmos de Minería de Datos

Hugo Emilio Ryckeboer, Osvaldo Mario Spositto,

Mauro Javier Casuscelli, Lorena Romina Matteo,

Julio César Bossero

Resumen: Para acelerar la respuesta inicial en sistemas de recuperación de información sobre depósitos documentales privados de mediano tamaño fue estudiada la posibilidad de segmentar el mismo y elaborar la respuesta examinando sólo un segmento. En este trabajo se intenta aminorar la pérdida de calidad que ello provocaba.

Palabras claves: Recuperación de información, particionado, recubrimiento, K-means. Minería de datos.

Introducción

La recuperación de información es una técnica de la que se disfruta cuando realizan búsquedas en Internet y sería pretencioso querer introducir mejoras a los buscadores más famosos. No obstante eso, existen depósitos documentales privados que no se desea exponer al público y sobre los cuales se tiene interés en tener un sistema de recuperación. En la medida que tales depósitos aumentan de tamaño el tiempo de respuesta aumenta ya que, si no se ha previsto estructuras complejas, es proporcional a la cantidad de documentos.

En todo sistema que interactúa con el hombre, hay que tener en cuenta la psicología de éste, el cual quiere respuestas con sensación de instantáneas y contra esta característica conspira el crecimiento del depósito. Una solución es aumentar la potencia de cómputo, pero esto no está al alcance de todos.

En un trabajo previo [4] se analizó la posibilidad de fraccionar el depósito de modo tal de reducir el tiempo sin gran desmedro en la calidad de la primera respuesta que entrega el sistema frente a un requerimiento.

Tratándose de poblaciones grandes y variadas, tanto en los documentos como en las consultas, ambos imposibles de describir con un patrón regular, evaluar esta propuesta será inevitablemente de un modo estadístico. La tarea aquí comenzada es aplicable a otras situaciones de apareo de objetos.

En la siguiente sección se describe someramente los principios de las tecnologías involucradas, limitado a lo efectivamente utilizado. En la otra sección las tareas de otros investigadores así como algunas pocas ideas afines a lo realizado. Finalmente se expone en detalle las ideas aportadas y su concreción en código. La última sección detalla las experiencias numéricas y el modo de juzgarlas.

Marco Teórico

La recuperación de información (RI o IR por sus siglas en inglés Information Retrieval) es un área de investigación que se inició con los trabajos de Salton en los años 60 [1] y recientemente ha experimentado un desarrollo espectacular motivado por la competencia de los buscadores en Internet y el consiguiente deseo de aplicarlo a repositorios privados. La RI se distingue de otras técnicas de acceso en que recupera archivos por su contenido y no por sus metadatos [2].

Muchos modelos han sido propuestos y usados para representar documentos, entre ellos, el modelo vectorial [3]. Representa las consultas y documentos como vectores y la recuperación de información se hace en función de operaciones entre vectores. El modelo vectorial fue definido por Salton en [1], y es ampliamente usado en operaciones de RI, así como también en operaciones de categorización automática, filtrado de documentos, etc. En este modelo se intenta recoger la relación de cada documento D_i, de una colección de N documentos, con el conjunto de las m características de la colección. Formalmente a un documento puede asociarse un vector que expresa la relación del documento con cada una de esas características. Una función del indexado asocia a cada documento D_i del corpus D un vector de m características: $\boldsymbol{c_{ik}}$. Ese vector columna C_i identifica en qué grado el documento D_i satisface cada una

de las *m* características. En ese vector, c_{ik} es un valor numérico que expresa en qué grado el documento D_i posee la característica *k*. El concepto "característica" suele concretarse en la ocurrencia de determinadas palabras o términos en el documento, aunque nada impide tomar en consideración otros aspectos.

La "Indexación Semántica Latente" (LSI por las siglas en inglés de Latent Semantic Indexing) [3] es otro modelo. Parte del modelo vectorial, tratando de superar los problemas de sinonimia (1) y a la polisemia (2) describe la matriz vectorial en valores propios. Finalmente observa que con los términos de mayor peso logra un buen resultado. LSI ha sido efectivamente usado en RI de la web y en otras aplicaciones.

La Minería de Datos

La minería de datos (MD) es una disciplina ya bien establecida desarrollada en numerosos libros [6]. El objetivo principal de la minería de datos es extraer nuevos conocimientos a partir de datos. Existen diversos tipos de métodos para extraer el conocimiento, estos métodos se agrupan de acuerdo al tipo de tarea que realizan. Las principales tareas son: clasificación, regresión, agrupación y asociación [6]. Tal vez sea más adecuado decir que organizan a través de estas tareas la información disponible para facilitar el conocimiento de la situación por parte de los usuarios de estos sistemas, las decisiones que deben tomar y su eventual delegación en sistemas automatizados. A continuación se explican de manera resumida dos de ellas que son las que fueron usadas en esta investigación.

Agrupación. También conocida como segmentación (en inglés se la conoce como clustering), es una técnica que permite analizar y examinar datos que no se encuentran etiquetados, formando conjuntos de grupos a partir de su similitud [6]. Los que comparten un mismo grupo recibirán una misma etiqueta, distinta de la de otros grupos. Los objetos a clasificar poseen propiedades sobre las cuales se puede definir un criterio de similitud o distancia. Especificar tales criterios se simplifica si las características son numéricas, con

valores en un conjunto conceptualmente continuo, Esta situación la tenemos en los modelos de representación de documentos, salvo en el booleano, prácticamente en desuso. Las etiquetas son arbitrarias, optando muchos sistemas en aplicar números naturales consecutivos, carentes de todo significado adicional. Para nuestra aplicación la función distancia deberá armonizar con aquella que usa el ordenador de documentos en la recuperación.

La similitud puede medirse a través de funciones de distancia, las cuales juegan un papel crucial, ya que individuos cercanos deberían ir para el mismo grupo. Se agrupan los objetos de acuerdo a todas las variables y por ello, una variable irrelevante puede generar ruido en los resultados obtenidos.

Clasificación: Este tipo de tarea sirve para predecir la categoría a la que pertenece un objeto dado. Un conjunto de datos están etiquetados si todos o la mayoría de sus registros contienen un atributo especial llamado atributo de *clase* o etiqueta [6]. El objetivo de este tipo de atributo es clasificar la muestra para que pertenezca a una categoría. Esta asociación se realiza con base en las características o propiedades de los objetos mediante un patrón frecuente.

La clasificación funciona mediante la descripción del manejo de datos de alguna área determinada. Llamados conjuntos de datos, y los elementos que los componen son conocidos como objetos, registros o muestras. A esta parte se le conoce como fase de entrenamiento, donde el clasificador mediante un análisis "aprenderá" de un conjunto de muestras ya clasificadas y los atributos asociados de la clase.

Una tupla para el aprendizaje de la técnica se le conoce comúnmente como muestras de entrenamiento. Una muestra, X, está representada por un vector de atributo de n-dimensiones, $X = (x_1, x_2, ..., x_n)$, que representa *n* mediciones hechas sobre los datos de la muestra. Cada atributo representa una característica de X.

Algoritmos Utilizados

A continuación se explica los dos algoritmos elegidos para realizar este proyecto.

Algoritmo K-Means. (En español debiera llamarse K-Medias), presentado por MacQueen en 1967, es uno de los algoritmos desarrollados para resolver el problema del agrupamiento. La idea del algoritmo es proporcionar una clasificación de la información de acuerdo con los propios datos, basada en comparaciones entre sus valores numéricos. Así, el algoritmo proporcionará una clasificación automática sin la necesidad de supervisión humana, es decir, sin pre-clasificación existente. Debido a esta característica, se considera como un algoritmo del tipo No Supervisado.

Es un algoritmo iterativo, parte de *K*, valor propuesto por el usuario, puntos en el espacio multidimensional de las características, que llamaremos centroides. La forma de elegir los centroides iniciales varía según distintas implantaciones que tiene el método. Luego cada iteración realiza dos pasos:

a) Para cada objeto a particionar se determina el centroide más cercano y así se lo etiqueta.
b) Se reposiciona cada centroide utilizando todos los objetos que fueron etiquetados para un mismo centro.

Es usual que esta actividad converja y tanto los desplazamientos que sufren los centroides como los cambios de etiqueta sean cada vez menores. La teoría del método demuestra que la suma de las distancias al cuadrado de los objetos etiquetados a sus respectivos centroides disminuye en cada paso.

Visto como problema matemático la solución no es única y puede ser aconsejable reiniciarla con nueva elección de centroides iniciales. Es un problema de múltiples mínimos locales.

El comportamiento del algoritmo está influenciado por:

- ✓ El número de centroides (*K*) elegidos.
- ✓ La elección de los centroides iniciales.

- ✓ El orden en que las muestras son presentadas, en el caso de inicialización autónoma.
- ✓ Las propiedades geométricas de los datos.

Redes neuronales artificiales.

Las Redes Neuronales Artificiales (RNAs o ANNs, en inglés, Artificial Neuronal Networks), son modelos computacionales que surgieron como intento de conseguir formalizaciones matemáticas acerca de la estructura y el comportamiento del cerebro humano. Simulan un aprendizaje a través de la experiencia. Los algoritmos desarrollados alrededor de esa idea resultaron útiles para resolver muchas situaciones de las cuales se posee un conocimiento insuficiente para plantear una solución rigurosa. Evaluados estadísticamente logran un gran porcentaje de aciertos.

En un sistema neuronal artificial se establece una estructura jerárquica, posiblemente más regular que las biológicas. Las neuronas de una capa reciben estímulos solamente de las neuronas de la capa previa, si la hubiera y si no del exterior. A su vez su salida es enviada con distinto grado de intensidad a las neuronas de la capa siguiente, si las hubiera, de forma tal que una RNA puede concebirse como una colección de procesadores elementales (neuronas artificiales), conectados entre sí o bien a entradas externas y con una salida que permite propagar la señal por múltiples caminos.

El modelo ha evolucionado. Para facilitar el entrenamiento es bueno sustituir la función escalón o de disparo por una función analítica pero con alta pendiente en lo que sería el umbral. De esa forma enfrentando la red con casos de resultado conocido se modifican en sucesivas rondas los coeficientes, esperando que luego, frente a casos nuevos entregue el resultado correcto. Todas las salidas internas pasan a ser números reales, pasando a entero la salida final si la aplicación lo exige. En la aplicación aquí desarrollada requerimos salida real sin redondeo.

Antecedentes y Trabajos Relacionados

Este trabajo continúa con la línea de investigación de dos proyectos PROINCE (3) orientado el primero al estudio del tema y posteriormente a la realización de un prototipo de Sistema de recuperación de la Información, aplicando la metodología del *ISL*. Varios autores de este trabajo, participaron en el otro proyecto dedicado a la predicción de perfiles de alumnos en riesgo de deserción. Aquí se utilizó Minería de Datos y se hizo un análisis comparativo de modelos de clasificación. De la experiencia conjunta surgió: "Uso de Minería de Datos para acelerar la recuperación de documentos".

Se localizaron trabajos afines: Clusterdoc [5], es un sistema de recuperación y recomendación de documentos que está dirigido a usuarios con necesidades de búsqueda de información, que a través de algoritmos de agrupamiento divide el conjunto de datos en pequeños grupos con características comunes, lo cual permite minimizar el espacio de búsqueda y proporcionar información adaptada a los intereses del usuario. Por último el trabajo de Augusto Cortez Vásquez [6] que aborda el problema de una aplicación usando el algoritmo supervisado: máquinas de soporte vectorial (MVS) en el área de RI.

Uso de minería de datos en la recuperación de documentos

El objetivo de todo sistema de recuperación de documentos es sugerir una lista de documentos ordenados de acuerdo a la probabilidad o una estima de su adecuación al requerimiento formulado. Sólo el examen de los documentos por parte del requeridor confirma el mayor o menor acierto del sistema.

Sistemas orientados a volúmenes moderados no quieren programar complejas estructuras de datos que respondan a un ordenamiento por vecindad sino que enfrentan las consultas con la totalidad del corpus, esperando rescatar los más cercanos. Resuelto así, el tiempo es proporcional al tamaño. Para reducir ese tiempo se puede recurrir a un aumento de potencia de cómputo, especialmente usando el paralelismo.

La investigación comenzó con una línea alternativa, fraccionar el corpus, lo que requirió dos algoritmos preparatorios:

a) uno que particione el corpus utilizando una noción de vecindad o similitud y
b) el entrenamiento de un algoritmo de clasificación que direccione la consulta hacia la parte más promisoria.

Ambos servicios los estudia y provee la minería de datos.

Luego por cada consulta se debe ejecutar dos pasos:

c) aplicar el algoritmo que direcciona la consulta hacia una de las partes, para

d) enfrentar la consulta con cada documento de esa parte para determinar su grado de adecuación y posterior posición en la lista de documentos sugeridos.

Si la parte elegida efectivamente contiene un alto porcentaje de los documentos que hubieran encabezado la lista de haber hecho el proceso sobre la totalidad el usuario no sentiría demasiado la falta de otras sugerencias. Evidentemente habrá consultas cuya respuesta completa esté repartida entre varias partes, pero mientras haya en la página inicial suficientes documentos representativos de la respuesta ideal para que el usuario los examine, hay tiempo de procesar otras partes y mostrarle cuando solicite la segunda página lo que hubiera faltado en la primera. Los primeros resultados en esta línea fueron alentadores y publicados [4].

Sin embargo se decidió analizar modificaciones que pudieran mejorar el porcentaje de consultas con respuesta satisfactoria y el precio a ello asociado, ya sea en preprocesos del corpus como en un menor beneficio en tiempo para la consulta.

Una explicación intuitiva del porque no se alcanzó el resultado ideal es que algunas consultas puedan caer cerca de la frontera de dos o más particiones. De modo tal que fuera inevitable que se vieran sólo una parte de los vecinos. El azar de los documentos puede hacer inclusive que del otro lado de la frontera haya más documentos que del lado consultado.

Dos formas de atacar esto fueron diseñadas: (a) disponer de dos o más particionados, con la esperanza que lo que fuera

frontera de partes uno fuera interior para otro; (b) pensar en recubrimientos más que en particionados.

a) **Múltiples particionados.** Las implantaciones de K-means son sensibles al orden en que reciben los datos. De modo tal que cambiando convenientemente el orden de los vectores representativos de un corpus se puede conseguir diversas propuestas de particionado. Al proponer en que parte de que particionado se debe realizar la búsqueda se puede optar ya sea la que provea la señal de red más elevada o la que tenga más cercano su centroide. Trae como contrapartida un mayor tiempo de preproceso del todo el corpus antes de dejarlo operativo y una mayor fragmentación en el almacenamiento del corpus, el cual podría verse fraccionado en forma exponencial siguiendo la distribución de los elementos en los distintos particionados. U, organizar múltiples listas vinculadas sobre los vectores del corpus o listas invertidas ordenados por el lugar físico que ocupe el vector descriptivo, etc.

b) **Recubrimientos.** Un recubrimiento es un conjunto de subconjuntos que tiene la propiedad de que la unión de estos sea el todo. Renuncia a que sus partes sean disyuntas. En promedio estos subconjuntos serán más grandes de lo que hubieran sido en un particionado y por lo tanto se pierde parte de la ventaja de reducir el volumen total del corpus a sólo una parte. Una de las formas más sencillas de definir recubrimientos con el debido control de su crecimiento es definir primero un particionado y luego extender esto a elementos vecinos. Dos formas fueron pensadas de tener un crecimiento moderado y controlado de las partes: (b1) Una vez terminado el particionado se puede recorrer los documentos y observar las K distancias a los centroides. La menor distancia debiera coincidir con la partición a la cual quedó asignado. Usando esta menor distancia como referencia se puede decidir que aquellas distancias que superan a ésta en un bajo porcentaje puedan producir una pertenencia adicional del documento a otra partición. Esto requiere un preproceso del corpus hasta dejarlo operativo y una fragmentación del corpus en más partes. La segunda técnica incorpora a los más cercanos a los documentos de la partición si aún no estuvieran.

Conceptualmente el modo de lograrlo es utilizar los mismos documentos como consulta, la cual ordenará a todos los documentos por su afinidad al analizado y decidir que cierto número de ellos, tomados desde la cabeza de la lista sean forzados, si aún no lo estuvieran a integrar la partición ampliada. Hacerlo eficientemente es complejo para no enfrentar a cada documento con todos los documentos. Siendo un preproceso no afecta a la velocidad de las consultas reales.

Evaluación de los resultados obtenidos

Métricas para evaluar: Es necesario introducir alguna métrica que permita apreciar la calidad del resultado obtenido y ver la incidencia de los parámetros ajustables en ello. Se desarrollaron varias propuestas. Conviene tener presente que la lista de documentos exhibidos al procesar una partición es una sublista de la lista que provee el corpus completo manteniendo el orden de ésta. Pues un documento precede a otro por su mayor afinidad sin tener en cuenta cuales son los otros documentos que compiten por lo mismo, estos a lo más quedarán intercalados entre ambos.

Una primera métrica, pensando en la aplicación a búsqueda documental analiza el escenario de uso del sistema, el usuario ingresa la consulta y obtiene una página de sugerencias de lectura, típicamente con 10 documentos. Mientras los examina el sistema puede seguir procesando una o más particiones adicionales y enriquecer una segunda página. Una primera estadística elegida es: “De haber procesado el corpus completo cuantos de los documentos de la primera página hubieran provenido de la partición consultada, número entero que estará entre 0 y 10”. Planteado en sentido inverso podría ser el décimo elemento que muestra cuán lejos estaría en la lista resultado si se hubiera procesado el corpus completo.

Para tener un número práctico de decisión y no tener que comparar largas estadísticas, ambos fueron condensados en un único valor, para el primero: ¨”En cuántos casos se muestran en la primera página al menos 7 documentos de la solución global”. Para el segundo: “En cuántos casos el décimo elemento mostrado no pasa de la segunda página en la

solución global". Finalmente para tener una métrica global sensible a cualquier cambio de posición de los documentos atribuimos a cada documento mostrado el cociente entre el lugar que ocupa al procesar la parte y el lugar que ocuparía de procesar el todo y estas fracciones las promediamos.

particio	Distribuión detallada de la métrica 1											Métrica 1 abre-		Métrica 2 abre-		Métrica
nado	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	viada: 7 o más		viada: pag. 1y2		3 global
0	0	6	7	31	52	69	68	89	80	121	177	467	66,71%	579	82,71%	0,4826
1	1	0	16	28	45	52	79	90	100	92	197	479	68,43%	592	84,57%	0,4829
2	1	2	12	28	35	65	77	90	108	100	182	480	68,57%	604	86,29%	0,4864
3	1	3	7	30	51	72	77	96	74	108	181	459	65,57%	589	84,14%	0,4825
4	1	4	9	26	50	76	54	87	75	97	221	480	68,57%	589	84,14%	0,4918
5	0	2	17	35	43	64	81	86	90	86	196	458	65,43%	588	84,00%	0,4779
6	1	2	9	28	34	64	80	93	80	104	205	482	68,86%	602	86,00%	0,4937
7	1	4	8	26	56	67	58	81	87	102	210	480	68,57%	592	84,57%	0,4916
0 y 1	0	0	2	17	25	37	53	83	101	126	256	566	80,86%	651	93,00%	0,5289
0, 1 y 2	0	0	1	6	12	28	52	63	107	128	303	601	85,86%	676	96,57%	0,5546
0 a 3	0	0	1	4	13	21	36	49	91	118	367	625	89,29%	679	97,00%	0,5798
0 a 4	0	0	1	3	10	11	28	41	80	122	404	647	92,43%	684	97,71%	0,5947
0 a 5	0	0	0	4	10	9	26	40	73	116	422	651	93,00%	685	97,86%	0,6061
0 a 6	0	0	1	4	9	10	26	39	73	113	425	650	92,86%	683	97,57%	0,6072
0 a 7	0	0	1	4	9	10	26	36	73	114	427	650	92,86%	683	97,57%	0,6077

Tabla 1. Resultados obtenidos por múltiples particionados

Experimentos realizados Se hicieron simulaciones numéricas con córpora aleatorios de tamaños crecientes tanto en cantidad de vectores como en el largo de los mismos, siempre particionando en 4, resultados que fueron publicados en [4].

Aprovechando que K-means no entrega un único resultado, sino que este es dependiente del orden de envío de los datos sobre un pseudo-corpus se realizaron 8 particionados, cada uno evaluado por separado (ver tabla 1), en ella se tabula primero su métrica 1 detallada, los resultados son similares lo que ya fue comprobado en [4] cambiando los parámetros de las simulaciones. Luego se abre la posibilidad de elegir el particionado y parte basándose en la mayor cercanía a los centroides disponibles. Claramente se obtiene mejoras considerables expresadas por cualquiera de las métricas aplicadas.

Las dos técnicas para extender las particiones y construir recubrimientos fueron simuladas para visualizar la disminución

de la aceleración pretendida. (Ver figura 2) La primera, basada en distancia de centroides es sencilla de programar y alcanza niveles altos de calidad a costo de sacrificar el beneficio de explorar partes pequeñas, Si se conformara en reducir el volumen a examinar en medio cuerpo en lugar del cuarto inicial, habría que detenerse en 0,18 de tolerancia.

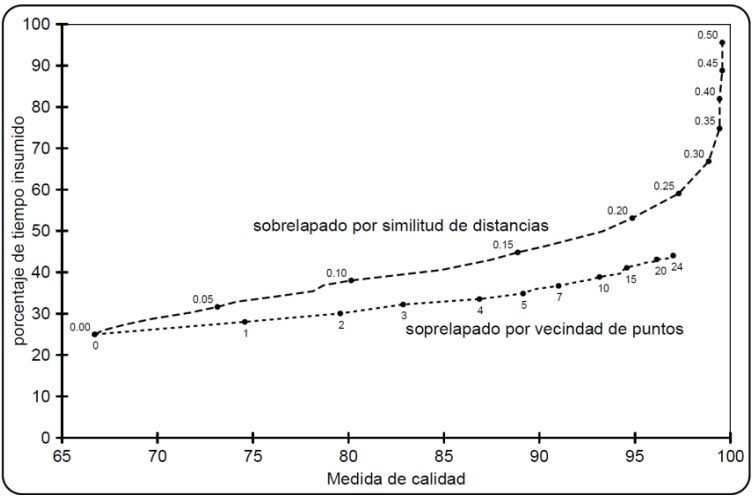


Figura 2. Resultados obtenidos en las dos técnicas de extensión

La segunda, basada en incorporar los n documentos más cercanos a uno dado, si es que no estuviera ya en la partición supera a la otra, para igual calidad, en la magnitud de los crecimientos en volumen de los recubrimientos y con la consiguiente ganancia en velocidad de respuesta.

Conclusiones y futuros trabajos

Los números obtenidos en las simulaciones son promisorios, lo que incentiva seguir investigando para obtener porcentajes aún mejores.

Se destacan algunas ideas que debieran contribuir a lograrlo:

- Decidir por cada consulta la conveniencia de explorar o no los documentos de la franja marginal incorporada.

- Particionar en más partes y fusionar dos o más entre los más promisorios.
- Probar con otros algoritmos de particionado prefiriendo aquellos que logren partes más equilibradas.

Notas

(1) La sinonimia es una relación semántica de identidad o semejanza de significados entre determinadas expresiones o palabras.

(2) Una palabra polisémica es aquella que tiene dos o más significados que se relacionan entre sí.

(3) Programa de Incentivos a Docentes Investigadores SPU-Medde.

Bibliografía

[1] Salton, G.: Automatic Information Organization and Retrieval. McGraw−Hill, N.Y. (1968).

[2] Seco Naveiras, D.: Técnicas de indexación y recuperación de documentos utilizando referencias geográficas y textuales. Universidade da Coruña. Dep. de Computación. (2009), <http://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/7172>. Citado el 20/06/2018.

[3] Salton, G.; McGill, M.J.: Introduction to Modern Information Retrieval, New York: McGraw-Hill, (1983).

[4] Spositto, O. y otros: Aceleración en la Recuperación de Información utilizando Algoritmos de Minería de Datos de R, CACIC 2018 Tandil.

[5] Giugn, M.: Clusterdoc, un sistema de recuperación y recomendación de documentos basado en algoritmos de agrupamiento. Telematique, vol 9 - nro 2. (2010). http://www.redalyc.org/pdf/ 784/78415900002.pdf

[6] Cortez Vasquez, A.: Categorización de Textos mediante Máquinas de Soporte Vectorial. Revista de Investigación de sistemas e Informática. Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Ingenieria de Sistemas e Informática. (2003). ISSN 1816-3823. http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/sistem/article/viewFile/5711/4942

* * *

16

Análisis de Vibraciones Torsionales de Cigüeñales de Motores de Combustión Interna Provistos de Amortiguador Torsional

Cristian Giner, Carlos Bello, Adrián Flamant

Resumen: Este trabajo abordó el problema que se presenta en un cigüeñal, donde los esfuerzos de naturaleza alternante, introducidos por el sistema biela-manivela y la geometría del mismo componen un sistema sensible a las vibraciones torsionales. Las frecuencias naturales del sistema se excitan por las fuerzas alternantes involucradas, principalmente la de la combustión. Las amplitudes de vibración a las velocidades críticas son lo suficientemente altas haciendo que el cigüeñal, como cualquier accesorio acoplado, sean la principal causa de falla. Para estudiar el modo de absorber estas acciones mediante una amortiguación, se hizo necesario determinar las frecuencias naturales y amplitudes resultantes en cigüeñales. El procedimiento utilizado involucró: a) el estudio cinemático y dinámico del mecanismo rotatorio y alternante, b) la simplificación a un modelo puramente rotatorio, c) el análisis de frecuencias naturales del sistema libre. Los resultados obtenidos de este trabajo muestran las frecuencias naturales del cigüeñal y los modos de vibración correspondiente más importantes mostraron cómo se comporta el componente con sus amplitudes. Este trabajo es parte de la primer etapa de modelación mediante métodos numéricos del proyecto PID "Determinación de frecuencias naturales, solicitaciones y modos de amortiguar vibraciones torsionales en árboles cigüeñales" y se pretende consolidar el equipo de trabajo del grupo DIDEME y capacitar a sus miembros en utilización de los métodos numéricos, la producción de publicaciones científicas numéricas en el área de la ingeniería electromecánica y generar casos de estudios para el análisis de falla en Elementos de Máquinas.

Palabras claves: Vibraciones torsionales, velocidades críticas torsionales, fallas por vibraciones torsionales.

Introducción:

Las vibraciones torsionales comprenden esencialmente la torsión alternante de un rotor mientras este está girando. Las maquinas alternantes producen una serie de fuerzas excitadoras de gran magnitud y de múltiples frecuencias que en la mayoría de los casos excitan el sistema masa-resorte, pudiendo resultar en amplitudes y tensiones suficientemente elevadas que causan la falla. En la mayoría de los casos las fallas ocurren de forma súbita, sin haber dado señales de vibraciones alguna, con un patrón de fractura a 45° respecto del eje (Fedosoiv, 1980).

El estudio de las frecuencias naturales torsionales puede ser realizado por el enfoque clásico para sistemas de más de dos grados de libertad planteando las ecuaciones diferenciales que describen el movimiento en términos de matrices (matrices de rigidez, masa y amortiguamiento). Este método además de su complejidad algebraica, involucra la aplicación de una serie de hipótesis simplificadoras necesarias para acotar el número de elementos de las matrices y obtener sus valores, las cuales pueden introducir una incertidumbre en los resultados.

Fotografía 1 : Cigüeñal de motor Chevrolet 250 - Mendoza

Fotografía 2 : Cigüeñal de motor Torino 7B - Rosario

En las máquinas con movimiento alternativos, la geometría del árbol, la distribución de masas y las fuerzas excitadoras pueden resultar en un sistema muy complejo de resolver con un modelo clásico.

Frente a la complejidad del sistema y la inexistencia de una solución simple, la ejecución de un estudio de vibraciones torsionales se vuelve una necesidad para asegurar que las amplitudes de los desplazamientos angulares como de las tensiones generadas resultan dentro de los límites admisibles establecidos para garantizar el desempeño y vida de la máquina.

El propósito de este artículo es desarrollar un proceso de modelado y resolución por elementos finitos capaz de simular eficientemente el fenómeno de vibraciones torsionales que existe en máquinas provistas de un sistema alternante biela manivela, como es el caso de los motores de combustión interna.

La norma API 684 establece una serie de hipótesis de cálculo y plantea un procedimiento general a seguir para el estudio de frecuencias torsionales. A continuación se detallan los pasos relevantes aplicables a este caso de estudio: 1)Calculo de las frecuencias naturales; 2) análisis de los modos de vibrar; 3) diagrama de interferencia (Campbell); 4) Torque dinámico desarrollado, tensiones de corte alternantes, oscilación resultante; 5) Amortiguación debido a componentes que absorben energía (amortiguadores torsionales).

El procedimiento y las hipótesis de simplificación planteadas en el modelo de elemento finito presentado en este artículo son analizados y comparados frente al modelo clásico analítico.

Métodos y materiales

Con el objeto validar el modelo mediante experimentos, el mismo se realizó con componentes de un motor real, Torino 7 bancadas del cual se disponen las piezas. El estudio constó de tres etapas bien diferenciadas, como se detallan a continuación

Obtención de la geometría: Se crearon los sólidos 3D utilizando software Solidworks a partir del relevamiento de la geometría de cada uno de los componentes del sistema ver figura 1. Las dimensiones, pesos y propiedades del material del modelo 3D terminado fueron comparados con las piezas físicas lo que permitió la validación de los modelos 3D generados mediante el software (Dassault Systèmes - SolidWorks Corporation, 2010).

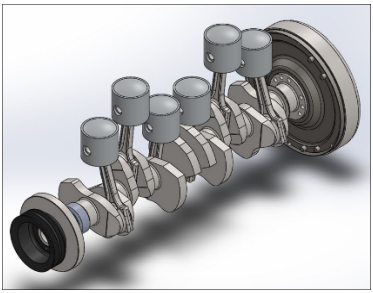


Figura 1: Modelado CAD del sistema completo

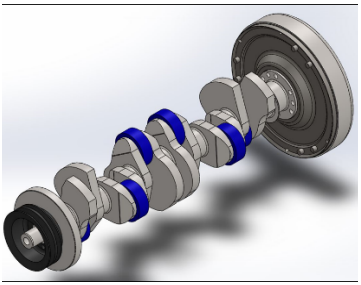


Figura 2: Modelado CAD del sistema dinámico

Simplificación del modelo: La cinemática del sistema modelada en CAD involucra movimientos complejos que no permiten simular eficientemente los modos de vibrar del cigüeñal. Debido a esto, se ha recurrido a simplificar el modelo siguiendo los modelos clásicos establecidos.

En estos modelos se propone trasladar todas las masas que experimentan traslación como masas concertadas colocadas en el muñón del cigüeñal. La bibliografía acerca del tema propone agregar al sistema un de inercia polar que se determina según la ec. 1 (Timoshenko & Young, 1959).

$$I = M_1 + \frac{1}{2} M * (1 + \frac{r^2}{4*l^2}) \qquad \text{ec. 1}$$

La masa equivalente calculada, se introdujo en el modelo mediante anillos colocados sobre el muñón como se muestra en la figura 2. Se validó el modelo simplificado mediante una simulación de SolidWorks Motion para evaluar el momento de inercia polar resultante que permita corroborar su representatividad en un sistema equivalente (Dassault Systèmes - SolidWorks Corporation, 2010).

Se calcularon las masas equivalentes según lo propuesto por la bibliografía específica y se comparó el momento torsor requerido para acelerar ambos modelos a la misma aceleración angular (Rao, 2012). A continuación, se muestra el momento de inercia de ambos sistemas para distintas posiciones de cigüeñal.

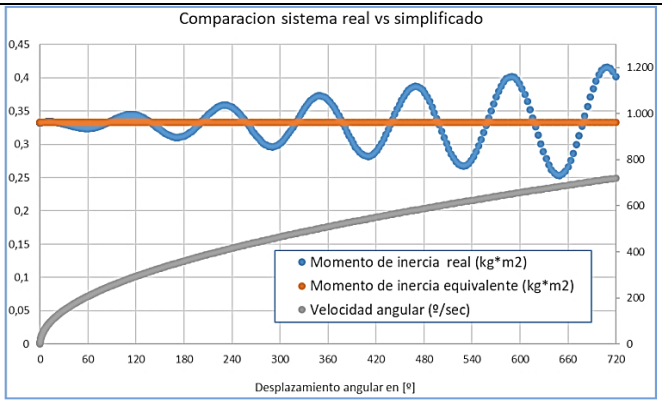


Figura 3: Desplazamientos modelo 3D y modelo equivalente

Determinación de las frecuencias naturales: la resolución de estas incógnitas involucra un análisis cinemático y dinámico del mecanismo por el método de los elementos finitos. El solver utilizado ANSYS Mechanical (https://support.ansys.com/, 2017). Las hipótesis tomadas para definir las condiciones de contorno de la simulación son:

- Se consideró al montaje de componentes como un sólido, aunque está constituido por varias piezas,
- El modulo elástico se ha considerado constante, lo que implica que no se lleva a ningún componente más allá de su límite de proporcionalidad.
- Se considera a material homogéneo e isótropo
- El diseño geométrico responde al componente en su totalidad y sus características de material corresponden a la de la fundición nodular y acero al carbono según corresponda
- Restricciones: La sujeción es a partir de vínculo deslizante en los siete apoyos del cigüeñal, permitiendo solo la rotación sobre el eje Z, y evitando capturar los modos de vibración por flexión.

El modelo matemático está planteado en la figura 4.

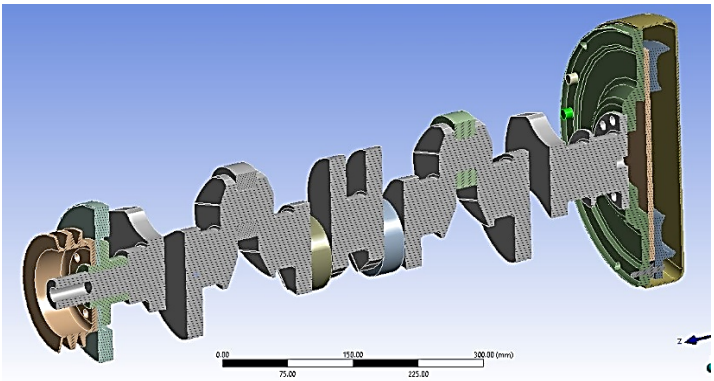


Figura 4: Modelo matemático

Mallado: Se seleccionó un mallado de elementos sólidos tetraédricos de segundo orden para mallar geometría sólida. Estos elementos pueden tomar formas curvas en sus lados (parabólicos) y caras por lo que pueden modelar geometrías complejas como es el caso de estudio. El modelo 3D mallado puede visualizarse en la figura 5

En el caso de estudio, tratándose de un análisis modal linear, se ha considerado que la métrica "calidad promedio de los elementos" es suficiente para validar la calidad de la malla. Considerando que el código FEA toma la malla y resuelve los desplazamientos en cada nodo, en un análisis modal lineal la malla no necesita el nivel de ajuste que necesariamente debe realizarse en un estudio no lineal o en un estudio de tensiones.

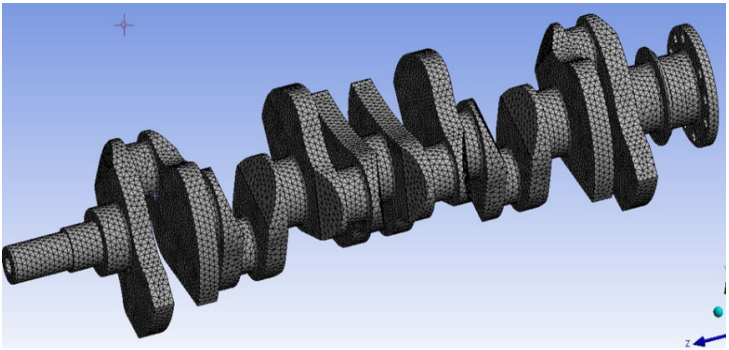


Figura 5: Mallado del modelo geométrico

Resultados: Los resultados del modelo matemático planteado arrojan una serie de frecuencias naturales del sistema. Estas frecuencias naturales fueron analizadas y filtradas con el objeto de separar aquellas que resultan en modos de flexión y axiales, de las que muestran modos de torsión, las que son las de interés en este estudio. A continuación, se muestran los 4 primeros modos de vibrar de torsión encontrados: Las imágenes muestran en una escala de colores los desplazamientos angulares, el rojo muestra el máximo desplazamiento y el azul el nulo.

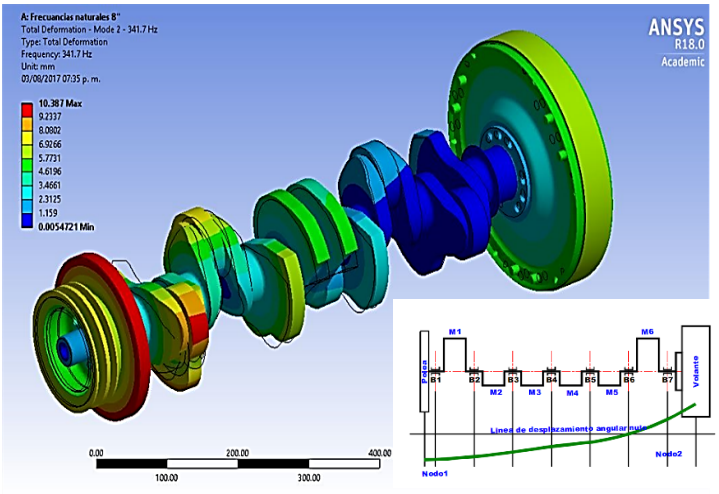


Figura 6: Modo 1: 341hz

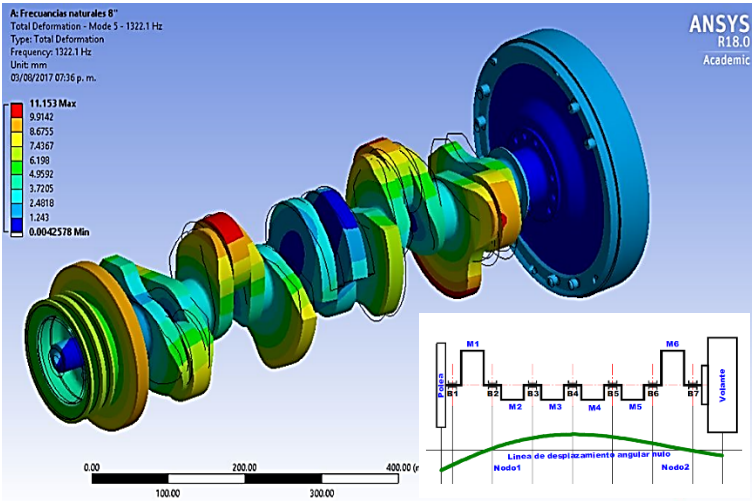


Figura 7: Modo 2: 822hz

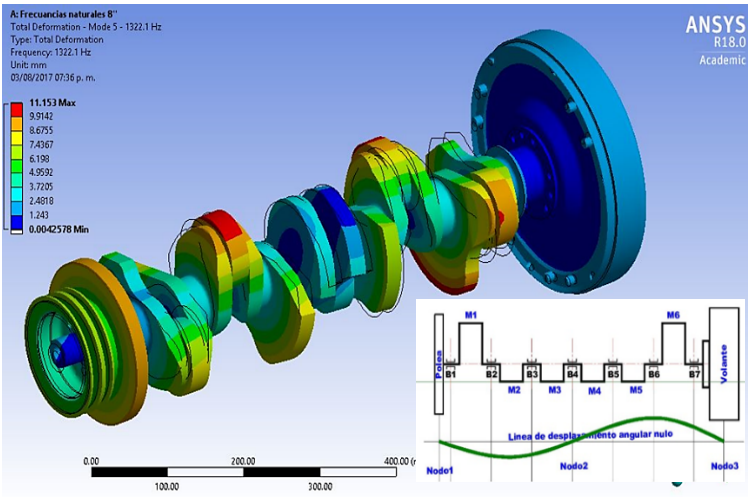


Figura 8: Modo 3 1322 Hz

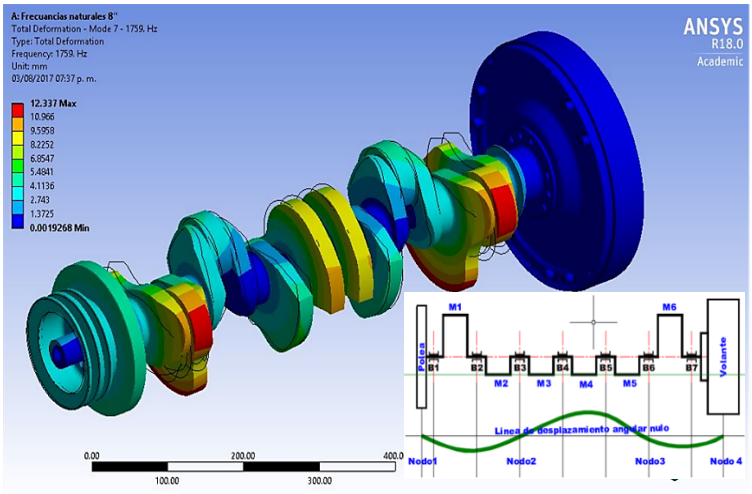


Figura 9: Modo 4: 1759 Hz

Diagrama de interferencia: El presente artículo forma parte de una investigación que pretende resolver la modelación de diferencias soluciones propuestas para mitigar las fallas en cigüeñales de motores de combustión interna. La solución más elemental que puede adoptarse a los problemas de vibraciones torsionales, corresponde a evitar que existan fuerzas excitadoras con frecuencias que sean cercanas a las frecuencias naturales del sistema, y de esta manera evitar la resonancia y las grandes amplitudes que resultan de la misma. Con el objeto de verificar la posibilidad de adoptar esta solución, se ha construido un diagrama de interferencias, donde se muestra, en bandas horizontales, las frecuencias naturales con un margen del +/- 10%, y por medio de rectas, las frecuencias excitadoras sincrónicas a la velocidad de giro. Se ha adoptado que las frecuencias excitadoras de magnitud relevante corresponden a las siguientes (P. Horváth, 2015):

• **1x:** Fuerza de excitación sincrónica con la velocidad de giro, producida en su mayor parte por desbalanceo residual.

• **2x:** Fuerza de excitación sincrónica a 2 veces la velocidad de giro, generada principalmente por desalineaciones

• **3x:** Fuerza de excitación sincrónica a 3 veces la velocidad de giro, producida por la aceleración primaria del mecanismo biela manivela (aceleración de primer orden)

• **6x:** Fuerza de excitación sincrónica a 6 veces la velocidad de giro, producida por la aceleración secundaria del mecanismo biela manivela (aceleración de segundo orden)

• **12x**: Fuerza de excitación sincrónica a 12 veces la velocidad de giro, producida por la fuerza de inercia de partes e traslación.

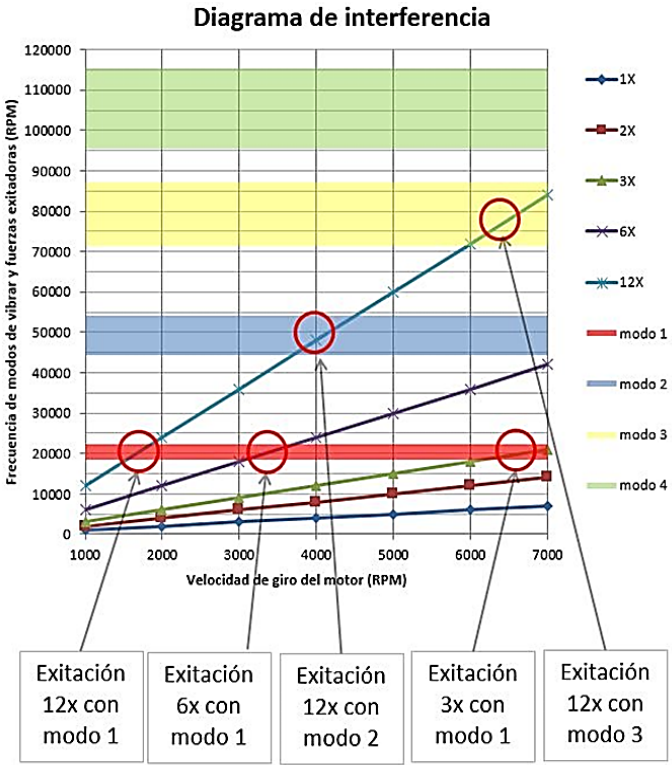


Figura 10: Frec. y modos de vibrar vs. Revoluciones motor.

Discusión

En su funcionamiento normal, el motor opera a distintas velocidades, su régimen de trabajo comienza desde las 700 RPM y no supera las 7000 RPM.

La amplitud de vibración del Modo 1 debe ser estudiada ya que se detectan 3 interferencias con fuerzas sincrónicas que excitarán este modo sobre el rango de operación normal del motor (excitación12X y excitación 6X y excitación 3X).

Algunas de las soluciones posibles para proteger al cigüeñal de los efectos de las vibraciones torsionales son:

1) Aumentar la rigidez del sistema para aumentar la frecuencia natural.
2) Reducir las masas del sistema para aumentar la frecuencia natural.
3) Incorporar amortiguadores de vibraciones para evitar grandes amplitudes.
4) Limitar el funcionamiento del motor a las zonas de operación segura.

Se deberá evaluar cuál de las opciones resultan técnica y económicamente más conveniente, considerando aspectos de confiabilidad, vida útil y mantenimiento.

Conclusiones

La simulación cinemática del SolidWorks Motion verificó que las masas equivalentes calculadas aplicando el modelado clásico representan eficientemente la inercia de los elementos del sistema completo.

La posterior simulación de frecuencias naturales y la construcción del diagrama de interferencias, muestra que existen varias velocidades de funcionamiento donde se produce la resonancia.

El amplio rango de funcionamiento de los motores de combustión interna y la gama de frecuencias excitadoras que existen en los motores multicilíndricos implican que para evitar la interferencia se debería construir un sistema rígido y de poca masa, lo cual resulta en un desafío para los diseñares que además deben conservar economía de sus motores.

Los próximos pasos de la investigación están direccionados a la caracterización de las fuerzas excitadoras y la simulación por elementos finitos de los desplazamientos y tensiones resultantes del sistema frente a la acción de dichas fuerzas excitadoras calculadas.

Nota

El presente trabajo es parte del proyecto PID: Vibraciones torsionales de cigüeñales de motores de combustión interna

provistos de amortiguador torsional, de Código ASUTIME0004876TC que desarrolla el Grupo DIDEME.

Referencias

Carlos Bello, M. S. (2013). Estrategias de introducción a la modelación matemática. *EnIDI 2013*.

Dassault Systèmes - SolidWorks Corporation. (2010). *Guía del estudiante para el aprendizaje del software SolidWorks.* Recuperado el 17 de 04 de 2017, de https://www.solidworks.com/sw/docs/Student_WB_2011_ESP.pdf

Edwin Andres Quintero, H. A. (2008). Construction of a Newtonian Reflector Telescope of 15 cm. *Scientia et Technica Año XIV, No 40*, 228-233.

Fedosoiv, V. I. (1980). *Resistencia de Materiales.* Moscú: MIR.

https://support.ansys.com/. (24 de 10 de 2017). Obtenido de http://www.ansys.com/Support/Academic+Technical+Support

P. Horváth, J. É. (2015). Stress Analysis and Weight Reduction of a. *Acta Technica Jaurinensis*, Vol. 8, No. 3, pp. 201-217,.

Pointer, J. (2004). Understanding Accuracy and Discretization Error in FEA Model. *Woodward Governor Company*, 11.

Rao, S. S. (2012). *Vibraciones Mecánicas.* Mexico: Pearson.

Timoshenko, S., & Young, D. H. (1959). *Problemas de Vibración en Ingeniería.* Mexico D. F.: D. Van Nostrand Company .

* * *

17

Verificación de la Trazabilidad con Materiales de Referencia Certificados

Julio Ortigala

Resumen: El propósito de este trabajo es analizar de qué manera se puede garantizar la calidad de las mediciones en ensayos analíticos. La vía analizada para generar confianza en los resultados es la validación de los métodos de ensayo. Se eligió el parámetro denominado trazabilidad por considerarlo fundamental para comparar resultados y saber si tienen exactitud. Se eligió trabajar con un material de referencia certificado (MRC), por considerarlo el uso más frecuente. La norma ISO 5725-6 presenta una metodología para asegurar la trazabilidad de un ensayo pero necesita una aproximación ya que se orienta a los ensayos interlaboratorios. Se encontró que una aproximación adecuada sigue los siguientes pasos: a) calcula el número de ensayos que se deben realizar para cometer un error máximo de estimación preestablecido, con valores de α y β adecuados, b) se utiliza un estadístico de prueba basado en la distribución t de Student, c) se compara la media observada con el valor del MRC para analizar su existe una diferencia estadísticamente significativa. La conclusión principal es que la aproximación permite tener acotados el error de estimación, lo que asegura mayor confiabilidad.

Palabras claves: Calidad, validación, trazabilidad, error, estadística.

En la actualidad, los laboratorios tienen metas de calidad que los llevan permanentemente en un camino de mejora continua, por lo que los resultados de mediciones que entregan a sus clientes internos y externos deben ser de alta confiabilidad. Estos resultados, son la base para la toma de decisiones fundamentales para la industria y calidad de vida, lo que conduce a que los laboratorios tienen que estar en condiciones de garantizar que esos valores están exentos de errores o que estos no coloquen al resultado de la medición fuera de control estadístico. Además la globalización de los

mercados, obliga a que todos los resultados de las mediciones puedan compararse entre distintos actores mundiales, por lo que los valores obtenidos en el sitio A deben ser iguales a los obtenidos en el sitio B y si existiera diferencia, esta no debe ser estadísticamente significativa.

La vía científica para que los laboratorios puedan demostrar que sus métodos de ensayos generan resultados confiables y adecuados para su finalidad o propósito perseguido es la validación de los métodos de ensayos, así como las herramientas del control y la gestión de la calidad de base estadística.

Validación es la confirmación mediante el suministro de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos para una utilización o aplicación específica prevista (IRAM 32)

Dicho en otras palabras, validar un método de ensayo consiste en demostrar y documentar su calidad, o sea su adecuación a unos determinados requisitos, previamente establecidos por el usuario interno o externo, para poder resolver un problema metrológico en particular. Estos requisitos son los que definen los parámetros o criterios de calidad que debe poseer el método a utilizar para resolver el problema metrológico. Estos requisitos son Veracidad, Trazabilidad, Precisión, Representatividad, Sensibilidad, Límite de detección, Límite de cuantificación, Selectividad, Robustez, Linealidad, Incertidumbre.

Según la norma ISO/IEC 17025, los laboratorios deben validar todos los métodos que se utilicen en el laboratorio, tanto los desarrollados por ellos mismos como aquellos procedentes de fuentes bibliográficas o desarrollados por otros laboratorios.

Trazabilidad: En el Vocabulario de Metrología Internacional, VIM, la trazabilidad se define como la “propiedad del resultado de una medición mediante la cual el resultado se puede relacionar a una referencia a través de una cadena ininterrumpida documentada de calibraciones, donde cada una contribuye a la incertidumbre de medición”. Para esta definición, la referencia puede ser la definición de una unidad

de medida a través de su realización práctica o un procedimiento de medición que incluye la unidad de medida para una magnitud no ordinal, o un patrón de medición. Por ejemplo, una balanza de nuestra Universidad puede calibrarse con una pesa patrón, la cual ha sido calibrada con la pesa de un laboratorio que ha acreditado la norma ISO 17025. A su vez ese laboratorio, ha calibrado su pesa con los patrones del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) y a su vez el INTI calibra sus posas con laboratorios oficiales de Europa o Estados Unidos de Norteamérica. Esta cadena de calibraciones o comparaciones nos permite tener confianza en los resultados obtenidos ya que como nuestros resultados son comparables a una referencia, podemos asegurar que la precisión está dentro de control estadístico y que el sesgo no es estadísticamente significativo en ninguna de las etapas del método de medición. Por otro lado, al asegurar exactitud en nuestros resultados, podemos compararlos a los obtenidos por otros laboratorios.

La trazabilidad de las mediciones físicas se realiza a través de patrones certificados o instrumentos de medida calibrados que se relacionan entre sí a través de una serie de calibraciones ininterrumpidas hasta arribar al patrón fundamental, por ejemplo, el kilogramo, el metro o el segundo. Sin embargo en el campo del análisis químico nos encontramos con un problema más complejo debido a que el tipo de muestras pueden afectar mucho los resultados obtenidos. Esto dificulta llegar a través de una cadena ininterrumpida de calibraciones a la unidad fundamental de materia en el sistema internacional (SI) de unidades, el mol. A su vez se suma, que cualquier análisis químico posee más fuentes de incertidumbres que un análisis físico.

Por otro lado, debemos tener en cuenta que en mediciones físicas predominan los errores sistemáticos que son aquellos que se mantienen constantes a lo largo de todo el proceso de medida y, por tanto, afecta a todas las medidas de un modo definido y es el mismo para todas ellas. Estos errores tienen siempre un signo determinado y las causas probables pueden ser: errores instrumentales (de aparatos); por ejemplo, el

error de calibrado de los instrumentos; error personal: este es, en general, difícil de determinar y es debido a las limitaciones de carácter personal, como, por ejemplo, los errores de paralaje, o los problemas de tipo visual; errores de método de medida, que corresponden a una elección inadecuada del método de medida; lo que incluye tres posibilidades distintas: la inadecuación del aparato de medida, del observador o del método de medida propiamente dicho. En cambio, en las mediciones químicas predominan los errores aleatorios, los cuales se deben fundamentalmente al azar y son casi imposible de eliminar pero si de disminuir. Puede tener dos causas fundamentales. La primera, el error de muestreo. Cuando obtenemos una muestra de una población lo hacemos con la idea de estimar un parámetro poblacional a través del estudio de un estimador de ese parámetro en la muestra. Sin embargo, debido al error de muestreo podemos obtener una muestra que no sea representativa de la población (si obtenemos varias muestras, todas serán ligeramente diferentes unas de otras). Esto pasará, sobre todo, cuando los tamaños de las muestras sean pequeños y cuando utilicemos técnicas de muestreo que no sean probabilísticas. La otra fuente de error aleatorio es la propia variabilidad en la medición. Si nos tomamos la presión arterial varias veces, los resultados serán diferentes (aunque similares) debido, por una parte, a la propia variabilidad biológica y, por otra, a la imprecisión del aparato de medida que utilicemos. Este error aleatorio se relacionará con la precisión del resultado. Una medida será tanto más precisa cuanto menor sea el componente aleatorio, por lo que puede aumentarse la precisión aumentando el tamaño de la muestra o siendo más cuidadoso con las mediciones.

Cuando verificamos la trazabilidad de un sistema de medición o sea de sus resultados, se está analizando si el sesgo obtenido es estadísticamente significativo o sea la presencia o ausencia de un error sistemático. Hasta aproximadamente el año 1992, el concepto de trazabilidad era muy similar al concepto de exactitud, que tradicionalmente se había considerado como la ausencia de errores sistemáticos en el

procedimiento. Pero a partir de 1993 con la aparición de la norma ISO 3534 el concepto se modifica, ya que según esta norma, la exactitud se define como el grado de concordancia entre el resultado de un ensayo y el valor de referencia aceptado. Por lo tanto, además de considerar los errores sistemáticos, el término exactitud considera también los errores aleatorios, ya que estos siempre están presentes en el resultado de una medida. También la norma ISO 3534 define la Veracidad como el grado de concordancia entre el valor medio obtenido a partir de una serie de resultados de ensayo y un valor de referencia aceptado. Es decir, el resultado de una medición es veraz si el error sistemático está dentro de control estadístico. En la práctica, la veracidad se verifica utilizando patrones certificados o instrumentos de medida calibrados que se relacionan entre sí o referencias. Por lo tanto decir que un resultado es veraz, es equivalente a afirmar que el resultado es trazable al patrón, aparato o referencia utilizada.

Comprobación de trazabilidad en medidas químicas

La realización de mediciones sobre un mismo mensurando en condiciones de repetibilidad puede arrojar valores distintos aun cuando cumplamos con todos los estándares de calidad al respecto. El valor promedio obtenido de esa serie de mediciones, puede tener una diferencia o error con el valor de referencia. Como casi siempre aparecerá un error o diferencia, de lo que se trata es de verificar si no es estadísticamente significativo, es decir, si la diferencia se debe solamente a errores aleatorios y por lo tanto los resultados obtenidos con el método de medición son trazables. Para discernir sobre esto hay que aplicar test estadísticos, suficientemente robustos, aunque no libres de errores. Cuando se aplican estos test, se pueden cometer dos tipos de errores. El error de tipo I, que es rechazar la hipótesis nula(los resultados son trazables) cuando ésta es verdadera. El error de tipo II, que es aceptar la hipótesis nula (el resultado es trazable) cuando ésta es falsa. La probabilidad de cometer el error de tipo I se simboliza como α y la probabilidad de cometer el error de tipo II se simboliza como β. La

probabilidad de cometer el error de tipo II depende de varios factores:

- El valor elegido de probabilidad del error de tipo I (α): Si bien los eventos α y β no son complementarios, se observa que cuanto menor sea el valor de α, mayor será la probabilidad de cometer el error de tipo II y viceversa. Un valor aceptado universalmente para α es de 0,05. Este valor significa que existe una probabilidad de 0,05 o 5% de rechazar que el resultado es trazable, cuando en realidad si lo es. Esta probabilidad de equivocarse se debe a los errores aleatorios.
- El error de medición, e, que se quiere detectar en el test estadístico: cuanto menor sea éste, mayor es la probabilidad de cometer un error de tipo II.
- La variabilidad del método analítico (precisión) y la incertidumbre del valor de referencia: cuanto mayor sea la variabilidad del procedimiento y mayor sea la incertidumbre del patrón, mayor es la probabilidad de cometer un error de tipo II.
- El tamaño de la muestra ó número de veces que se ha analizado la muestra con el método de ensayo(n): la probabilidad de cometer un error de tipo II disminuye a medida que aumenta n.

Para comprobar trazabilidad pueden seguirse dos caminos:

a) La trazabilidad de los resultados se comprueba con un método de ensayo de referencia.
b) La trazabilidad se comprueba con un valor de referencia, que puede ser un material de referencia, un valor surgido de un ejercicio interlaboratorio o bien la cantidad de analito adicionada

Material de Referencia Certificado

Un material de Referencia Certificado (MRC), es un material de referencia donde una o más de sus propiedades están certificadas por un procedimiento que establece su trazabilidad a una realización de la unidad en la que se expresan los valores de la propiedad. Cada valor certificado

viene acompañado de su incertidumbre a un nivel declarado de confianza.

Los MRC generalmente se preparan en lotes. Los valores de la propiedad se determinan dentro de las incertidumbres declaradas por medio de medidas, sobre muestras representativas del lote completo.

Los MRC pueden ser:

- Soluciones patrón y mezclas de gas, a menudo preparadas gravimétricamente a partir de sustancias puras.
- Sustancias puras caracterizadas por la pureza química y/o trazas de impurezas.
- Materiales de referencia matriciales, caracterizados por la composición. Cada material puede prepararse con matrices de materiales naturales que contengan los componentes de interés o por mezclas sintéticas.
- Materiales de referencia físico-químicos, caracterizados por sus propiedades, como la viscosidad o la densidad óptica.
- Objetos o artefactos de referencia, caracterizados por las propiedades funcionales como el gusto, el olor, la dureza, el índice de octano. Este tipo incluye especímenes microscópicos.

Las características fundamentales de los materiales de referencia son:

- Homogeneidad: debe asegurarse que los valores que se determinan en una muestra de un lote se puedan aplicar a cualquier otra muestra, dentro de los límites de incertidumbre indicados.
- Estabilidad: debe asegurarse la estabilidad en todo el periodo de validez del MRC. Las condiciones de conservación y de utilización, deben estar bien definidas con el fin de asegurar la estabilidad.

En cuanto a los procedimientos de análisis, pueden clasificarse en tres tipos diferentes:

- Tipo I: aplicación directa de las leyes de la física o parámetros químicos. En este caso, para obtener un resultado se aplica un cálculo, basado en leyes físicas o en los parámetros químicos involucrados, sobre mediciones realizadas durante el proceso. Por ejemplo, la masa de una muestra o el volumen utilizado en una valoración.
- Tipo II: cuantificación por interpolación en una curva de calibración. Cuando se asume que no hay influencia de la matriz, se compara el contenido de la muestra a analizar con muestras de calibración de contenido conocido, utilizando un sistema de detección que tenga una respuesta preferiblemente lineal. El valor del contenido de la muestra se determina por interpolación. Esto supone que cualquier otra diferencia en composición forma, etc. entre la muestra a analizar y las de calibración no tiene ningún efecto en la respuesta o es despreciable comparado con la incertidumbre del resultado.
- Tipo III: cuantificación por interpolación en una curva de calibración, cuando existe influencia matricial. En este caso, se compara el contenido de la muestra a analizar con muestras de calibración de contenido conocido. La señal del sistema de detección utilizado varía no sólo con el contenido del elemento o molécula a analizar, sino con otras diferencias en la matriz. Si esta influencia de la matriz se ignorase, la respuesta vendría afectada por un error.

Comprobación de la trazabilidad utilizando un material de referencia

Para verificar la veracidad de un método analítico disponemos de la descripción realizada en la norma ISO 5725-6, aunque en este caso se utiliza la información generada por varios laboratorios que analizan la muestra de validación con un material de referencia certificado y con el método que se trata de validar.

La limitación de este procedimiento surge cuando se quiere aplicar esta metodología a un laboratorio en particular. Esto ha hecho que Kuttatharmmakul hayan realizado cambios a la propuesta de la norma ISO 5725-6 para adaptarla al caso de un laboratorio individual.

Esta aproximación propone analizar la muestra en condiciones de precisión intermedia, es decir, variando todos aquellos factores (día, analista, instrumento,…) que puedan afectar los resultados.

Para la comprobación de la trazabilidad utiliza una prueba de hipótesis para una muestra. El objetivo es probar si hay diferencia estadísticamente significativa entre el valor de referencia y el promedio de n ensayos realizados con el método a validar. El estadístico de prueba se basa en la distribución t. El investigador debe fijar el máximo error de estimación que está dispuesto a aceptar y la probabilidad de los errores tipo I y II, es decir α y β. A partir de estas consideraciones, se calcula el tamaño de la muestra, estadísticamente hablando, es decir la cantidad de veces que debe analizarse el material de referencia utilizada,

$$n = \frac{S_i^2}{\dfrac{e^2}{\left(t_{\alpha/2} + t_\beta\right)^2 - u_{MR}^2}}$$

Donde

n= cantidad de veces que debe analizarse el material de referencia

S_i^2: la precisión intermedia del método que se necesita validar

e: error máximo de estimación

$t_{\alpha/2}$: probabilidad de cometer un error de tipo I

t_β: probabilidad de cometer un error de tipo II

U_{MR}: incertidumbre estándar del material de referencia

La incertidumbre del material de referencia depende de su naturaleza. Si es un material de referencia certificado, la incertidumbre estándar se calcula como,

$$u_{MR} = \frac{U_{MR}}{k}$$

Donde

U_{MR} es la incertidumbre expandida del material de referencia y *k* el factor de expansión, con el cual se obtuvo el intervalo de probabilidad donde se halla el mensurando.

El valor de referencia puede provenir de un ejercicio interlaboratorio. En este caso, la incertidumbre estándar se calcula teniendo en cuenta que participan n laboratorios y cada uno informa un resultado. De los resultados aportados, se obtiene la mediana de todos los valores. Esto se realiza porque la media o promedio puede verse afectada por valores anómalos. La expresión resultante es,

$$u_{MR} = \frac{S_{li}}{\sqrt{n_l}}$$

Donde S_{li} es la desviación estándar de los resultados reportados por los laboratorios y n_l la cantidad de laboratorios participantes

Para realizar la prueba de hipótesis, utilizamos un estadístico de prueba basado en la distribución t de student

$$t_o = \frac{\bar{x}_o - \mu}{\sqrt{u_{MR}^2 + \frac{S_i^2}{n}}}$$

Donde

μ es el valor “verdadero” o de referencia

$\bar{x}_o$ es el promedio de los resultados obtenidos cuando la muestra de referencia se analiza n veces con el sistema de medición que se quiere validar

El valor de to debe compararse con un valor tcrit, obtenido de la distribución t de student patra un nivel de significancia α y los grados de libertad, v, calculados con la aproximación de Welch-Satterwaite

$$v = \frac{\left(u_{ref}^2 + \frac{S_i^2}{n}\right)^2}{u_{ref}^4 + \frac{S_i^4}{n^2.(n-1)}}$$

Si , $-t_{crit} < t_o < t_{crit}$, no hay diferencias estadísticamente significativa entre el valor de referencia y el valor promedio obtenido al analizar la muestra de referencia n veces con el método a validar. La conclusión es que el método a validar no tiene un error sistemático significativo y es trazable a la referencia utilizada. Por otro lado, si el método tiene un error e, se puede asegurar que la probabilidad de concluir falsamente que el método es trazable es inferior o igual a la probabilidad β fijada para calcular las n veces que debe analizarse a la muestra de referencia.

Conclusiones

Los laboratorios y los puestos de trabajo donde se realicen mediciones, deben asegurar la calidad de sus resultados, para responder a los requerimientos de sus clientes internos y externos. La validación de los métodos de ensayo ha demostrado ser un camino adecuado para los fines antedichos. La trazabilidad de un método de ensayo está entre los parámetros fundamentales e imprescindibles en la validación. Esta puede comprobarse con un método de ensayo de referencia o un valor de referencia, como puede ser el aportado por un Material de Referencia Certificado. En este trabajo se utilizó la segunda vía, dejando la primera para una ulterior revisión. La aproximación de Kuttatharmmakul, basada en la norma ISO 5725-6 ha demostrado ser una metodología muy precisa, dado que al ser replicada en laboratorios de prestigio internacional, ha otorgado resultados robustos. Se encontró que la realización de los ensayos en condiciones de precisión intermedia, era la forma más

adecuada para recolectar toda la variabilidad proveniente de las distintas fuentes. Po otro lado la consideración de la incertidumbre del MRC en el estadístico de prueba, asegura una exactitud mayor en las conclusiones sobre la trazabilidad del método de ensayo.

Referencias

Banks, Jerry. (1998). *Control de Calidad*. Limusa.

Feigenbaum, A.V. (1998), Total Quality Control: Engineering and Management, Mac Graw Hill, N.Y.

Harry, M.J. (1998). Six Sigma: A Breakthrough Strategy for Profitability, Quality

IRAM 301. ISO/IEC 17025 (2005) Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Cuarta Edición

Montgomery, Douglas C. (1997) *Design and Analisis of Experiments* 5TH Edition John Wiley. EEUU.

Montgomery, Douglas. (2006) *Control Estadístico de la Calidad*. Tercera Edición. Limusa Wiley.

Ríos Castro, Angel (2001) Curso "Aspectos Prácticos de la Calidad en los Laboratorios Analíticos". Concordia. Argentina.

* * *

18

Contaminación Acústica en la Ciudad de Mendoza, Análisis de Caso y Recomendaciones

César Eduardo Boschi, Salvador Enrique Puliafito

Resumen: El presente trabajo pretende poner de manifiesto la problemática que representa el gran nivel de contaminación acústica en la Ciudad de Mendoza. Se tomaron como punto de partida relevamientos y estudios efectuados con anterioridad por personal del Laboratorio de Acústica y Sonido "Mario Guillermo Camín". Se exponen los mecanismos de la propagación del sonido, la legislación vigente y las consecuencias de la contaminación sonora. Se analiza un caso bajo estudio a fin de actualizar las registros de las zonas de mayor contaminación, para distintas franjas horarias, utilizando metodologías estándares, propias y normativas vigentes. Finalmente se exponen los resultados y se plantean recomendaciones y posibles soluciones.

Palabras claves: Contaminación, ruido, tránsito vehicular, sonido, ecología.

Introducción

El sonido es una sensación auditiva producida por ondas de presión generadas por el movimiento vibratorio de cuerpos, que se transmite por un medio elástico, normalmente el aire. Los sonidos se pueden clasificar de distintas maneras según el criterio que se siga. Atendiendo al criterio de la relación que guardan entre si los patrones que forman las ondas de presión, los sonidos se pueden clasificar en musicales o ruido. Si bien desde el punto de vista exclusivamente físico no hay distinción entre sonido y ruido, ciertos sonidos agradables clasificados generalmente como musicales, pueden convertirse en molestos cuando los niveles de presión sonora que alcanzan son excesivos. Desde el punto de vista de la contaminación sonora se define al ruido como todo sonido no deseado. Por tanto, vemos que la diferencia entre sonido agradable y sonido molesto depende tanto del nivel de presión sonora como de la respuesta subjetiva.

En cualquier lugar existen ruidos procedentes de diferentes fuentes, unas próximas y otras lejanas; pueden llegar directamente desde sus fuentes generadoras o reflejados por superficies tales como edificaciones, aceras y/o calzadas. De acuerdo con lo expuesto, al ruido total asociado con un determinado entorno se lo llama ruido ambiental.

En los conglomerados urbanos al ruido ambiental se lo denomina también ruido urbano, ruido residencial o ruido doméstico y se define como el ruido emitido por todas las fuentes presentes en dichos conglomerados a excepción de las industriales.

A diferencia de otros contaminantes, el ruido no perdura ni se exporta; está localizado, y cesa cuando lo hace el emisor. Pero también es el primero que detecta el ser humano, casi instantáneamente, el que más perturba sin necesidad de acumulación, y el que más directamente afecta al bienestar. Las consecuencias de la contaminación acústica para la salud se describen según sus efectos específicos: deficiencia auditiva causada por el ruido; interferencia en la comunicación oral; trastorno del sueño y reposo; efectos psicofisiológicos, sobre la salud mental y el rendimiento; efectos sobre el comportamiento; e interferencia en actividades.

Desde 1980, la OMS ha abordado el problema del ruido urbano, ya que lo considera una de las primordiales molestias ambientales en los países desarrollados y también en ciudades de países en desarrollo, debido principalmente al tránsito. En el año 1992, la Oficina Regional de la OMS para Europa convocó una reunión de expertos para establecer guías para el ruido urbano y en 1995, la Universidad de Estocolmo y el Instituto de Karolina emitieron una publicación preliminar, Community Noise, que fue la base del documento Guías para el ruido urbano, las cuales se pueden aplicar en todo el mundo y son una respuesta práctica para la implementación de acciones.

Los niveles de ruido ambiental son cada vez mayores en las zonas urbanas, principalmente como consecuencia del aumento de tráfico. La Unión Europea, en el año 2002, emitió

una Directiva sobre Ruido Ambiental que unificó criterios para las normativas existentes sobre ruido en los países miembros y requirió a los mismos localizar las zonas de contaminación acústica y reducir sus niveles, mediante planificaciones a corto, mediano y largo plazo. Se calcula que alrededor del 20 % de la población de la Unión Europea está expuesta a niveles de ruido considerados inaceptables.

En la actualidad, para la Argentina, el ruido ambiental constituye un problema grave y creciente, que afecta diariamente a todas aquellas personas que viven y trabajan en entornos urbanizados. Esta situación también se repite en la provincia de Mendoza, y de igual manera en su ciudad Capital.

Conceptos básicos

La mayoría de los ruidos ambientales puede describirse mediante medidas sencillas. Una de las maneras de medir los niveles sonoros y por lo tanto los de ruido es a través de la unidad conocida como decibel (dB). El decibel es una unidad logarítmica, utilizada en diferentes disciplinas de la ciencia, que relaciona dos parámetros y en consecuencia es adimensional. En todos los casos se usa para comparar una cantidad con otra llamada de referencia.

El decibel, planteado en principio como “magnitud de relación’’ de parámetros, puede utilizarse como “magnitud de medida” cuando a uno de los parámetros de referencia se le asigna un valor constante. En acústica, las relaciones que se encuentran con más frecuencia son variaciones de nivel de presión. La referencia que se utiliza es de 20 μPa. En consecuencia, los niveles de presión sonora expresados en decibeles se identifican como dB-SPL (Sound Pressure Level).

A su vez a los decibeles se los afecta de diferentes curvas de ponderación según la aplicación. Los más comúnmente utilizados son: los decibeles A (dBA) y los decibeles C (dBC). Los decibeles C básicamente miden el sonido en cuanto a fenómeno físico. Los decibeles A, en cambio, miden la forma en que se lo percibe, así como su peligrosidad potencial para

el oído. Es interesante ilustrar con algunos ejemplos la escala A. En el campo, en silencio, se tienen unos 30 dBA. En el interior de una casa, de día, el nivel sonoro es de alrededor de 40 dBA. Una conversación normal corresponde a 60 dBA. Un automóvil en buenas condiciones pasando a baja velocidad, a unos 70 dBA. Un colectivo promedio, acelerando, emite ruidos de alrededor de 90 dBA. Un martillo neumático a 4 metros, alrededor de 100 dBA. Por último, un avión reactor despegando, medido desde el borde de la pista, corresponde a unos 120 dBA. A raíz de la definición logarítmica del decibel, los 80 dB que genera un camión no duplican los 40 dB que reinan en una biblioteca, sino que los centuplican. La causa principal de la polución sonora en las grandes ciudades es el tránsito vehicular y los mayores responsables son los motores diesel.

Legislación vigente

Debido a la variedad de fuentes emisoras y a la cantidad de ruidos que estos trasmiten; la legislación vigente establece niveles máximos, a nivel Nacional el Decreto Nº 46.542/72 y a nivel Municipal la Ordenanza Nº 2976 de la Ciudad Capital de Mendoza. La Ordenanza Nº 2976/13353/90 de la Ciudad de Mendoza, en el Título V, “Contaminación Sonora”, trata el tema de los ruidos, prohibiéndose “producir, causar, estimular, no impedir cuando fuere factible, o provocar ruidos vibraciones u oscilaciones, cualquiera sea su origen, cuando por razones de horario, lugar, calidad y/o grado de intensidad puedan ser calificados como ruidos molestos...” Se establece una serie de fuentes de ruido que se prohíben especialmente. Con respecto a las fuentes fijas, se utilizan los límites establecidos por la Norma IRAM 4062 sobre ruidos molestos al vecindario, así como el procedimiento de medición allí indicado. Con respecto al ruido emitido por vehículos automotores, se establecen límites por categorías de vehículos. (Ver Tabla 2). La Ordenanza contempla en su parte final medidas punitivas que involucran una detallada descripción de infracciones y sus correspondientes multas. No se proponen medidas de prevención.

Tabla 1. Decreto-Ordenanza Nº 46.542/72 - Niveles sonoros máximos en dBA.

Ámbito	Ruido Ambiente		Picos Frecuentes (7 a 60/hora)		Picos Escasos (1 a 6/hora)	
	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día
Hospital	35 dBA	45 dBA	45 dBA	50 dBA	55 dBA	55 dBA
Vivienda	45 dBA	55 dBA	55 dBA	65 dBA	65 dBA	70 dBA
Comercio	50 dBA	60 dBA	60 dBA	70 dBA	65 dBA	75 dBA
Industria	55 dBA	65 dBA	60 dBA	75 dBA	70 dBA	80 dBA

Tabla 2. Valores máximos del ruido ocasionado por el escape y cualquier deficiencia para diversos tipos de vehículos, por encima de los cuales se consideran como ruidos excesivos.

Tipo de vehículo	Nivel máximo en dBA
Motocicletas livianas; inclusive bicicletas, triciclos con motor acoplado (cilindrada hasta 50 cm3).	75
Motocicletas de 50 cm3 a 125 cm3 de cilindrada.	82
Motocicletas de 50 cm3 a 125 cm3 de cilindrada pero de 4 tiempos.	86
Automotores hasta 3500 kg de tara.	86
Automotores de más de 3500 kg de tara.	90

Valoración del ruido de tráfico de vehículos automóviles

El ruido de los vehículos automotores es en general una superposición de tres tipos de ruido de orígenes bien

diferenciados: a) el ruido de propulsión (el motor, la transmisión y el sistema de escape asociado); b) el ruido de rodadura entre las cubiertas y la calzada; y c) el ruido aerodinámico. A velocidades por encima de 80 km/h el ruido aerodinámico se vuelve muy importante, ya que la potencia de ruido aerodinámico crece con una potencia elevada (entre 4 y 8) de la velocidad. Por debajo de 50 km/h, en general predomina el ruido del motor. Sin embargo, y especialmente en el caso de los automóviles más nuevos, el silenciador de escape es tan efectivo que aún a velocidades tan bajas como 40 km/h sigue predominando el ruido de rodadura.

El nivel de presión sonora media varía con la distancia a la fuente de emisión y debería disminuir en 3 dB, si se considera una fuente lineal, cada vez que se dobla esa distancia. Experimentalmente se ha podido comprobar que en terreno llano y libre de obstáculos, la atenuación con la distancia es mayor de 3 dB, esto es consecuencia de una atenuación adicional debida al poder de absorción del suelo, así como a los fenómenos de refracción, difusión, condiciones meteorológicas y a la absorción del aire.

En zona urbana, la presencia continua de edificios a ambos lados de la vía refuerza el sonido, debido a las reflexiones que se producen entre las fachadas de los edificios. El ancho de la vía, el tipo de fachada, dimensiones de las aceras, etc., permiten obtener unos valores de la variación del nivel de presión sonora con estos parámetros. Se ha comprobado que en vías con edificios a ambos lados, el nivel de presión es sensiblemente independiente de la altura del punto de observación, mientras que cuando los edificios están a un lado de la vía, el nivel de presión disminuye con la altura.

Efectos del ruido sobre las personas

Las consecuencias de la contaminación acústica para la salud pueden ser:

Fisiológicas: Deficiencias auditivas, el más conocido es la hipoacusia o disminución de la audición, que se produce ante la exposición a sonidos extremadamente fuertes durante

breves instantes (por ejemplo 130 dBA durante un minuto) o ante sonidos fuertes reiterados durante varios años (por ejemplo una exposición de carácter laboral a 90 dBA a lo largo de 5 años). Pero aun en niveles moderados, como 75 dBA en forma permanente durante 40 años producen hipoacusia en las personas más susceptibles.

Es importante destacar que la hipoacusia provocada por ruidos es irreversible, ya que afecta principalmente a las células sensoriales del oído interno, que no se reconstituyen.

Otros efectos nocivos del ruido que han sido investigados son los trastornos orgánicos, como el cambio de ritmo de la secreción de ciertas hormonas (que en los niños pueden afectar el crecimiento), la hipertensión arterial, las afecciones digestivas, aceleración del ritmo cardíaco, tensión muscular, estrés, etc.

Un efecto indirecto es el esfuerzo de la voz, que produce afecciones del aparato fonatorio. Esta elevación de la voz es un comportamiento reflejo, de difícil control. Ante un ruido ambiente importante la elevación de la voz se produce en forma natural.

Psicológicas: Interferencia en la comunicación oral, efectos sobre el rendimiento, sobre el comportamiento, trastornos del sueño y reposo, irritabilidad, nerviosismo, agresividad, falta de concentración, molestia, miedo, sobresalto, incomodidad, intranquilidad, ansiedad, alarma, perturbación de la memorización a corto plazo, pérdida del alerta, etc.

Otro efecto fundamental es la disminución de la inteligibilidad de la palabra, la cual tiene lugar cuando el ruido ambiente se vuelve considerable debido al fenómeno perceptivo del enmascaramiento, por el cual la presencia de un ruido suficientemente intenso puede hacer inaudibles sonidos que en condiciones más favorables podrían escucharse perfectamente.

El límite de tolerancia recomendado por la Organización Mundial de la Salud es de 65 dB(A). El oído necesita algo más de 16 horas de reposo para compensar 2 horas de exposición

a 100 dB (discoteca ruidosa). Los sonidos de más de 120 dB (banda ruidosa de rock o volumen alto en los auriculares) pueden dañar a las células sensibles al sonido del oído interno provocando pérdidas de audición.

Caso de estudio: Av. Gdor. Videla

El área seleccionada para las mediciones es una porción de aproximadamente 8 has. del Parque O'Higgins. Está delimitada al este por la Av. Gdor. Videla con alta densidad de tráfico vehicular, al oeste por calle Ituzaingó, al norte por calle Urquiza y al sur por calle Entre Ríos (Ver Figura 1). La elección de una zona del Parque O'Higgins para realizar esta investigación, se ha debido a que la Av. Gdor. Videla (conocida como Av. Costanera) es una ruta de tránsito intenso y prácticamente constante en todos los horarios.

Sector 1: Parque O'Higgins entre calles Urquiza y Corrientes.

Sector 2: Parque O´Higgins entre calles Córdoba y San Luis.

Sector 3: Parque O'Higgins entre calles San Luis y Entre Ríos.

A raíz de estudios previos en la ciudad de Mendoza, se cuenta con un Mapa de Ruidos elaborado por la Dirección de Gestión Ambiental y Desarrollo - Municipalidad de la Capital de Mendoza y el Laboratorio de Acústica "Mario Guillermo Camín", UTN-FRM, cuyos datos ponen de manifiesto la problemática que representa el gran nivel de contaminación acústica debido principalmente al flujo vehicular. Dicho diagnóstico muestra los elevados niveles sonoros en el microcentro y macrocentro, siendo ésta la situación problemática que afecta el Parque O'Higgins y su entorno. Los niveles sonoros representados en el Mapa de Ruidos para esta zona a lo largo de las distintas franjas horarias (matutina, vespertina y nocturna) fueron en promedio de 60 – 70 dB(A).

Figura 1. Vista del área bajo estudio - Parque O'Higgins
Fuente: Google Earth 2014

Metodología

El procedimiento de medición consistió en sesiones programadas previamente en donde en cada punto se tomaron 90 lecturas. Todas las sesiones de medición se efectuaron en días laborales. Para velocidades de viento mayores de 3 metros por segundo y hasta el límite tolerable (5 m/s), se protegió al micrófono utilizando el accesorio para tal fin, con el propósito de evitar un aumento ficticio de los niveles medidos. Las mediciones se efectuaron en la mitad de las cuadras con el equipo ubicado en la vereda y el micrófono dirigido hacia el centro de la calzada. Se procuró que la

ubicación de las estaciones, correspondiera a veredas despejadas de objetos que pudieran interferir en la medición tales como vehículos estacionados, carteles publicitarios, señales de tránsito y a 1,20 m del suelo.

Se siguió el Protocolo de Mediciones Acústicas, cuyo procedimiento para determinar los niveles sonoros fue el siguiente:

• Medición de las condiciones atmosféricas antes de realizar cualquier registro de Niveles de Presión Sonora.

• Medición y registro en los puntos seleccionados de los Niveles de Presión Sonora, tomando una muestra cada 10 segundos durante un lapso de 15 minutos. Se colocó el Medidor de Nivel Sonoro con el filtro de ponderación "A", en respuesta lenta y en el intervalo 30 – 130 dBA

• Sistematización de los registros obtenidos: Nivel Sonoro Continuo Equivalente, Leq;

El instrumental y elementos utilizados fueron: G.P.S; Medidor de Nivel Sonoro portátil "Extech Instruments" Modelo 407762; Anemómetro; Pantalla antiviento; Trípode; Cámara fotográfica.

Las franjas horarias establecidas para las mediciones fueron:

• Franjas horarias Matutinas: de 08:00 a 09:00 hs. y de 12:30 a 13:30 hs.

• Franjas horarias Vespertinas: de 17:30 a 18:30 hs. y de 20:30 a 21:30 hs.

Las mediciones se realizaron en dos estaciones diferentes del año. El primer conjunto de mediciones fue en verano durante el mes de enero y el segundo conjunto en invierno durante el mes de agosto.

Resultados en los diferentes puntos de medición

Los resultados de las mediciones para cada punto en los diferentes sectores del Parque O'Higgins, en las correspondientes franjas horarias fueron los siguientes:

Tabla 3. Valores registrados de los Niveles Sonoros Continuos Equivalentes en el Sector 1 (Parque O'Higgins entre calles Urquiza y Corrientes) en las distintas franjas horarias en dos estaciones del año.

	SECTOR 1	
Franja Horaria	VERANO	INVIERNO
Mañana	72.0	72.9
Mediodía	71.6	73.2
Tarde	72.3	72.9
Noche	72.1	71.9

Tabla 4. Valores registrados de los Niveles Sonoros Continuos Equivalentes en el Sector 2 (Parque O'Higgins entre calles Córdoba y San Luis) en las distintas franjas horarias en dos estaciones del año.

	SECTOR 2	
Franja Horaria	VERANO	INVIERNO
Mañana	72.9	76.2
Mediodía	73.7	74.0
Tarde	72.6	74.9
Noche	71.9	73.8

Tabla 5. Valores registrados de los Niveles Sonoros Continuos Equivalentes en el Sector 3 (Parque O'Higgins entre calles San Luis y Entre Ríos) en las distintas franjas horarias en dos estaciones del año.

	SECTOR 3	
Franja Horaria	VERANO	INVIERNO
Mañana	74.0	76.2
Mediodía	74.0	74.2
Tarde	72.9	74.9
Noche	73.1	73.6

Recomendaciones

Se deben tomar medidas a mediano corto y largo plazo.

Las medidas a corto plazo son:

- Incrementar de los puestos de control de ruido de tránsito ubicados estratégicamente en toda la Ciudad.
- Homogenizar y actualizar la legislación vigente en materia de ruido tanto a nivel municipal como provincial.
- Replanificar los recorridos del transporte público de pasajeros.

Las medidas a mediano plazo son:

- Controlar el ruido en las fuentes: Incrementar las revisiones técnicas del parque automotor particular.
- Renovar el parque automotor del transporte público.

Las medidas a largo plazo son:

- Confeccionar barreras acústicas en autopistas y carreteras.
- Utilizar pavimentos "silenciosos".

- Impulsar las investigaciones de control activo del ruido en vehículos.

Referencias

Prevention of noise-induced hearing loss: report of an informal consultation held at the World Health Organization (1997), Genève: OMS.

Ordenanza Nº 2976/13353/90, Instrumentando medios tendientes a prevenir la contaminación ambiental en el ejido de la ciudad de Mendoza (1990), Mendoza: Municipalidad de la Ciudad de Mendoza.

ISO 9613-2, Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation (1994), Genève: ISO.

NORMA IRAM 4062. Ruidos molestos al vecindario. Método de medición y clasificación (2001). Buenos Aires: IRAM.

Boschi,C. y Muñoz Vargas, G. (2005). *Medición de la Contaminación Sonora en la Ciudad de Mendoza*. Vol. 1, pp. 235-242. Desarrollo e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingeniería. Mendoza: UTN FRM.

Recuero López, M. (1994). *Ingeniería Acústica.* Madrid: Paraninfo.

Muñoz Vargas, G. y Gutiérrez, L. (2007). *Medición de los Niveles de Emisión Sonora en la Ciudad de Mendoza*. Mendoza: Municipalidad de la Ciudad de Mendoza – Laboratorio de Acústica "Mario G. Camín", UTN – FRM.

Berglund, B.; Lindvall, T.; Schwela, D. (1999). *Guías para el ruido urbano*. *Organización Mundial de la Salud*. Londres: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente, OPS/CEPIS.

* * *

19

Análisis numérico del anclaje en el forjado de tubos de acero

Claudio Careglio, Nicolás Tripp y Aníbal Mirasso

Resumen: El conformado plástico de metales es un método de gran importancia para la elaboración de piezas de diferentes geometrías en la industria actual, y específicamente el proceso de forjado es utilizado para la fabricación de componentes en aplicaciones tan diversas como la de la industria aeronáutica, la automotriz y la del petróleo, entre muchas otras. En el caso de elementos tubulares con extremos forjados, un factor a considerar es el de contar con un anclaje suficiente como para no permitir el deslizamiento del tubo durante el proceso de conformado. Por otra parte, el anclaje tampoco debe ser excesivo como para producir defectos en el tubo. En este trabajo, se presenta el estudio numérico mediante elementos finitos del anclaje en el forjado de tubos de acero. Para ello, se supone un proceso isotérmico y de corta duración sin contemplar efectos inerciales. Se considera cinemática de grandes deformaciones, plasticidad y contacto. En particular, se analiza la influencia de la longitud del tubo en contacto con el anclaje, como así también la incidencia del desplazamiento radial y del coeficiente de rozamiento. Por último, se obtienen algunas conclusiones.

Palabras claves: Forjado, tubos de acero, grandes deformaciones, fricción.

Introducción

El forjado es un proceso ancestral que se nutre de siglos de experimentación. Este proceso es fundamental en aplicaciones donde se requieren piezas de alta resistencia, como por ejemplo: álabes de turbinas de gas (Chen et. al, 2015), herramientas de mano (Iwand & Wagner, 2010), cigüeñales de motores (Meyer et. al, 2015), engranajes (Wu et. al, 2016) y componentes de aeronaves (Prabhu, 2016) entre otros.

En la actualidad las simulaciones numéricas permiten reducir drásticamente los costos de la experimentación realizando gran cantidad de experimentos para determinar la influencia de los distintos parámetros que intervienen en el proceso de forjado. Como destacan Kaur et al. (2016) la modelación mediante elementos finitos permite abordar temas como la eliminación de imperfecciones, la optimización del proceso y el diseño de herramental (Hawryluk, 2016) entre otros.

En particular, en la industria del petróleo, la producción de tubos que puedan resistir las presiones y temperaturas involucradas, es un problema de estudio permanente. Un proceso importante en la elaboración de los tubos es el conformado de los extremos que permitan realizar la unión con otros componentes (Tüzün, 2004). En ciertas situaciones es necesario a su vez incrementar el espesor de los extremos, lo cual se realiza mediante forjado en caliente y en varias etapas (Morita et. al, 2009; Schnetzer et. al, 2017).

El proceso del conformado consiste en introducir un extremo del tubo dentro de una pieza denominada matriz, encargada de sujetar el tubo y darle la forma requerida, y luego introducir un punzón para producir la deformación plástica necesaria (Rathi & Jakhade, 2014). El proceso involucra varias variables como por ejemplo: el desplazamiento del punzón, las propiedades mecánicas del material, el ajuste de la matriz, los coeficientes de fricción entre el tubo, la matriz y el punzón, la longitud de la matriz, etc.

El modelo matemático asociado al proceso descripto contiene términos no lineales asociados a grandes desplazamientos, grandes deformaciones, plasticidad del material y contacto (Wriggers, 2002); siendo importante determinar la influencia de los diversos parámetros globales y locales que intervienen en el correspondiente proceso de deformación plástica con grandes deformaciones (Careglio, 2017). Además, dada la complejidad matemática en este tipo de problemas se requiere el uso de técnicas numéricas que permitan resolver las no linealidades presentes (Zienkiewicz & Taylor, 1994).

En el presente trabajo se estudia mediante elementos finitos (Zienkiewicz & Taylor, 1994) la influencia de las diferentes variables involucradas en el anclaje del conformado de tubos por forjado. En primer lugar se presentan las características principales del modelo de elementos finitos y se realiza un análisis de convergencia de malla. En segundo lugar se exponen los resultados obtenidos a partir de un estudio paramétrico y finalmente se obtienen algunas conclusiones.

Modelo de elementos finitos y propiedades del material

El problema investigado se compone de un tubo, un anclaje o agarre, y un punzón aplicado en el extremo superior del tubo. Esto puede ser observado en la Figura 1a. En particular, el tubo tiene una longitud *Lg* que se encuentra en contacto con el anclaje, un diámetro exterior de 63,5mm y un espesor de pared de 9,525mm.

Debido a la simetría de revolución existente en el problema es que se considera un modelo de elementos finitos axialsimétrico, cuya geometría es mostrada en la Figura 1b.

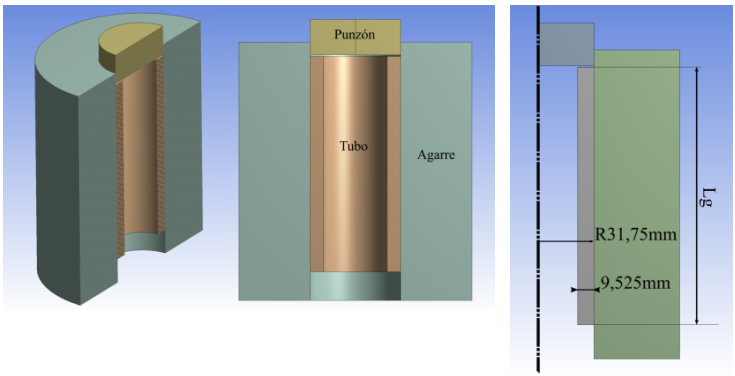


Fig. 1. a) Componentes del problema considerado,
b) geometría del modelo de elementos finitos

Las simulaciones numéricas son realizadas en dos etapas consecutivas empleándose el software ANSYS (2017). En la primera etapa, o etapa A, se aplica un desplazamiento radial

del anclaje (*ug*) que produce una compresión sobre la pared externa del tubo. Al finalizar esta etapa se encuentran en contacto las superficies del tubo y el anclaje. Se considera que dicho contacto posee un coeficiente de rozamiento *uf*.

En la segunda etapa (denominada B), en la cual se mantiene la condición impuesta en la primera etapa, se desplaza el punzón 1 mm en dirección longitudinal hasta entrar en contacto con el tubo. Posteriormente, el punzón aplica un desplazamiento de 10 mm de compresión en la cara superior del tubo.

En la Figura 2 se indica la dirección y sentido de los desplazamientos impuestos tanto en la etapa A como en la B.

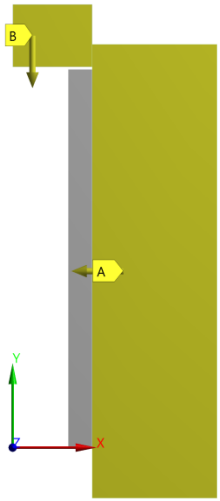


Fig. 2. Desplazamientos impuestos en las etapas A y B.

Cabe mencionar que tanto el punzón como el anclaje se consideran rígidos. Además, el contacto entre el punzón y el tubo se considera sin fricción, mientras que la carga debido al desplazamiento impuesto al tubo es únicamente resistida por la fricción producida entre el tubo y el anclaje.

Asimismo los análisis llevados adelante son del tipo estático con grandes deformaciones elastoplásticas. El tubo es discretizado con una malla estructurada con elementos cuadriláteros de cuatro nodos PLANE182 (ANSYS, 2017) para el caso axialsimétrico. El número de elementos es determinado a partir de un estudio de convergencia discutido en el inciso siguiente. Además, el punzón y el anclaje del tubo se modelan con elementos TARGE169 (ANSYS, 2017), mientras que para el contacto entre superficies se utilizó el elemento CONTA171 (ANSYS, 2017). Por otra parte, la interacción entre las superficies de contacto se simula utilizando un modelo tipo Coulomb.

Las propiedades del material son las de un acero se adopta un acero (Sajadifar et. al, 2011), siendo el módulo de Young de 200000MPa, el módulo de Poisson de 0,3, la tensión de fluencia de 500MPa y el módulo tangente de 0MPa.

Respuesta del problema frente a la malla

Para determinar la independencia de los resultados respecto a la discretización espacial se realiza un estudio de convergencia de malla. Como objeto de estudio se utiliza un tubo con una longitud *Lg*=150mm de longitud, un coeficiente de fricción entre el tubo y el anclaje *uf*=0,3. Además, en la etapa A se impone un desplazamiento radial del anclaje *ug*=0,2mm.

Para la realización del mencionado estudio se utilizan distintas mallas variando el número de elementos de 1 hasta 12 en el espesor del tubo, y de 16 a 189 en la longitud. Por lo tanto, las mallas menos densa y más densa tienen un número total de 16 y 2268 elementos respectivamente.

Como parámetro de control de convergencia se obtiene la fuerza entre el punzón y el tubo, en la configuración deformada final. En la Figura 3 se presenta dicha fuerza graficada en función del número total de elementos de la correspondiente malla. En particular, puede observarse que a partir de una malla de 564 elementos la variación de la fuerza es escasa, mientras que para la malla de 1500 elementos

dicha fuerza puede considerarse constante. Esta última malla corresponde a 10 y 150 elementos en el espesor y longitud del tubo respectivamente, y es la adoptada para llevar adelante las simulaciones numéricas del siguiente inciso.

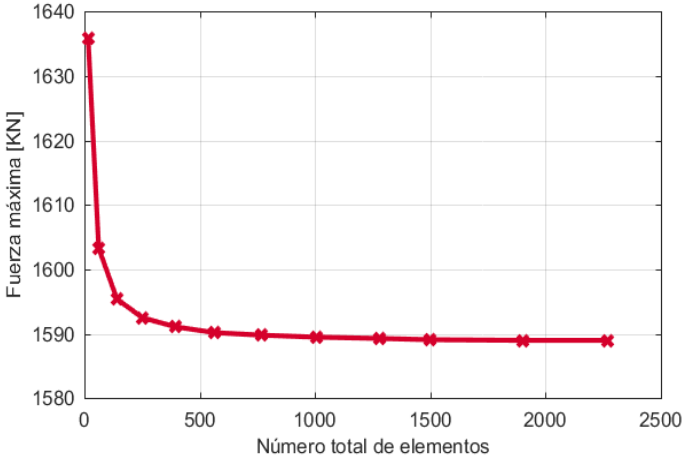


Fig. 3. Estudio de convergencia de malla

Estudio paramétrico del anclaje del tubo

Con el objeto de investigar la influencia de la longitud *Lg*, el desplazamiento radial *ug* y el coeficiente de rozamiento *uf* sobre el anclaje del tubo es que se realiza un estudio paramétrico.

En particular, se analizan valores de Lg de 100mm, 150mm y 200mm. Asimismo, por cada longitud se han adoptado distintos valores de *ug* en un rango que va desde 0 a 0,2mm, con incrementos □*ug*=0,002. Por último, para *uf* se han considerado valores de 0,05 hasta 0,3 con un incremento □*uf*=0,05.

Como un parámetro de comportamiento global se investiga la carga máxima, entre el punzón y el tubo, en función del desplazamiento radial. Esta carga se obtiene para cada

longitud y coeficiente de rozamiento, con lo que se obtiene un total de 1800 casos analizados.

En las Figuras 4, 5 y 6 se presentan los resultados obtenidos para los distintos valores de *Lg*, es decir, de 100mm, 150mm y 200m. En particular, en cada una de las mencionadas figuras la curva inferior corresponde a la fuerza obtenida para cada valor de *ug* considerando el menor coeficiente de rozamiento (*uf*=0,05). En las mismas figuras, la curva superior corresponde a la fuerza obtenida para un *ug* determinado cuando el coeficiente de rozamiento es el mayor (*uf*=0,2). Por otra parte, las curvas intermedias corresponden a los valores intermedios de *uf*.

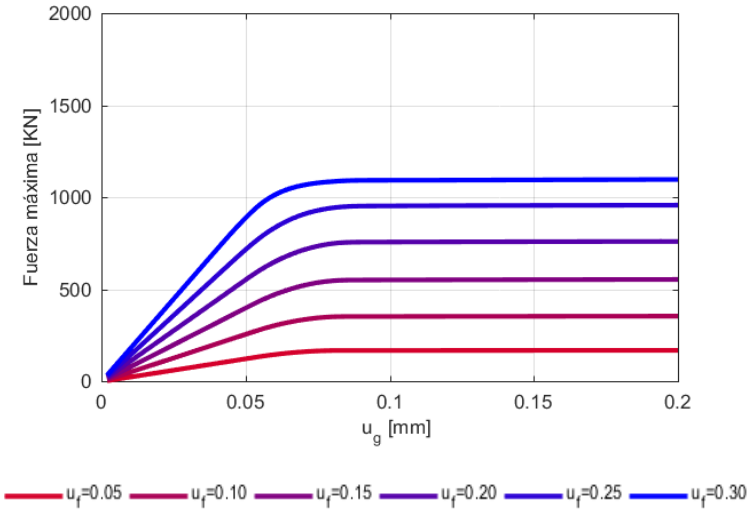


Fig. 4. Fuerza máxima en función del desplazamiento radial *ug* para *Lg*=100 mm

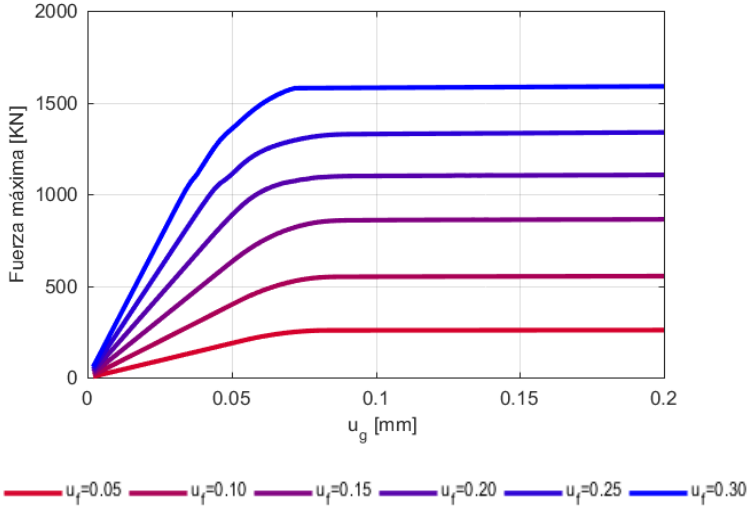


Fig. 5. Fuerza máxima en función del desplazamiento radial *ug* para *Lg*=150mm

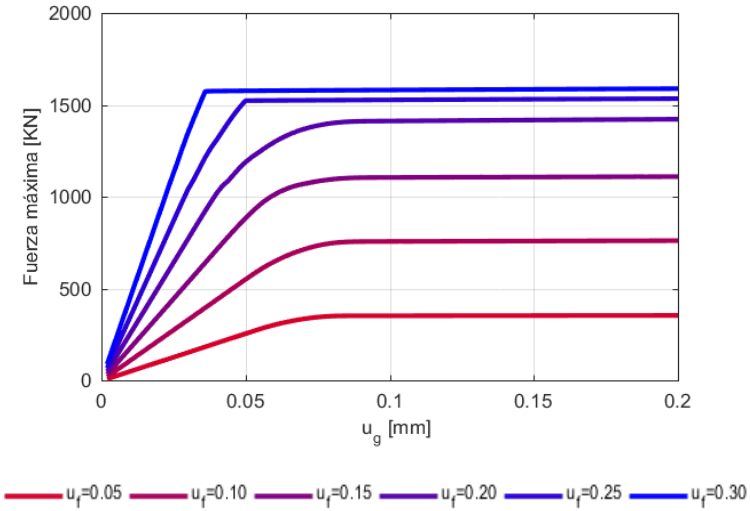


Fig. 6. Fuerza máxima en función del desplazamiento radial *ug* para Lg=200mm

En todos los casos de las Figuras 4, 5 y 6 puede observarse que para una misma longitud el valor de la fuerza aumenta con el *uf*. Además, se puede apreciar que cada curva presenta tres comportamientos diferentes. El primero corresponde a una relación lineal entre la fuerza y *ug*. En particular para las curvas correspondientes al uf máximo (0,30) la respuesta lineal se observa hasta los valores de *ug* iguales a 0,052, 0,037 y 0,034 aproximadamente para las longitudes de 100, 150 y 200mm respectivamente. .

Luego de la respuesta lineal aparece, en general, un segundo comportamiento donde la relación entre la fuerza y *ug* es no lineal, para las diferentes longitudes y valores de *uf*. Cabe mencionar que este segundo comportamiento no se presenta para una longitud de 200mm para el coeficiente de rozamiento máximo (0,30), como puede ser observado en la Figura 7.

Por último, en las la Figuras 4, 5 y 6 se presenta un tercer comportamiento, donde la carga se hace constante y el valor de *ug* no tiene incidencia sobre el valor de la fuerza.

Si se compara un mismo valor de *uf*, por ejemplo 0,15, para las tres longitudes, puede apreciarse que para un mismo *ug* la fuerza es mayor a medida que la longitud aumenta.

Por otra parte, para el caso de *uf*=0,30 con longitudes de 150mm y 200mm (Figuras 5 y 6) el valor de la fuerza donde es constante presenta el mismo valor para ambas *Lg*. Esto sugiere que, para dicho coeficiente de rozamiento y a partir de *Lg*=150 mm, un aumento de la longitud no tiene incidencia sobre el valor de la fuerza.

Finalmente, para el caso de *Lg*=200mm de la Figura 6, si se comparan para *uf*=0,25 y *uf*=0,30 las fuerzas donde son constantes, puede apreciarse que las mismas tienen valores muy próximos entre sí, en comparación con las otras longitudes y mismos coeficientes de rozamiento. Esto podría indicar que para dicha longitud y *uf*=0,25 un aumento del coeficiente de rozamiento tiene poca influencia sobre el valor de la fuerza.

Como un parámetro de comportamiento local para determinar que el anclaje sea suficiente se analiza la posición del extremo inferior del tubo. Un desplazamiento vertical del extremo inferior igual a cero indica que no se produce deslizamiento entre el tubo y el anclaje, mientras que un desplazamiento no nulo indica que el tubo se desliza durante el forjado. En particular en las Figuras 7, 8 y 9 se presentan el desplazamiento vertical máximo en el extremo inferior del tubo en función del desplazamiento radial. Estos desplazamientos son obtenidos para cada longitud y coeficiente de rozamiento.

En la Figura 7, correspondiente a *Lg*=100mm, puede apreciarse que todas las combinaciones de *ug* y *uf* producen un desplazamiento vertical del extremo inferior igual o muy cercano a 10mm. Por ello, puede decirse que para esta longitud tanto el desplazamiento radial (producido en la etapa A) como el coeficiente de rozamiento tienen una bajísima incidencia en el desplazamiento para el rango de valores analizados. Por lo tanto, el anclaje producido no es suficiente y el tubo se desliza.

Por otra parte, puede observarse en la Figura 8 que para *Lg*=150mm, y a partir de un valor de *uf*=0,20 o superior, el desplazamiento inferior es sensible al aumento del desplazamiento radial *ug*, aunque para cualquier valor de uf y los valores inferiores de *ug* no inciden en el desplazamiento inferior máximo. Además, se observa que para un coeficiente de fricción de 0,3 y valores desplazamiento radial superiores a 0,07mm se logra un anclaje suficiente y el tubo no se desliza.

Por último, en la Figura 9 se observa que para *Lg*=200mm y para valores iguales o superiores a 0,15 del coeficiente de rozamiento el desplazamiento inferior es sensible al aumento de ug, disminuyendo este último con el aumento de *uf* y *ug*. Como en el caso anterior, tanto los valores de *uf* como los valores inferiores de *ug* no inciden en el desplazamiento inferior máximo. Además, se observa que las combinaciones para *uf*=0,25 y *ug*≥0,05mm y para *uf*=0,3 y *ug*≥0,036mm, se obtiene un anclaje suficiente y el tubo no se desliza.

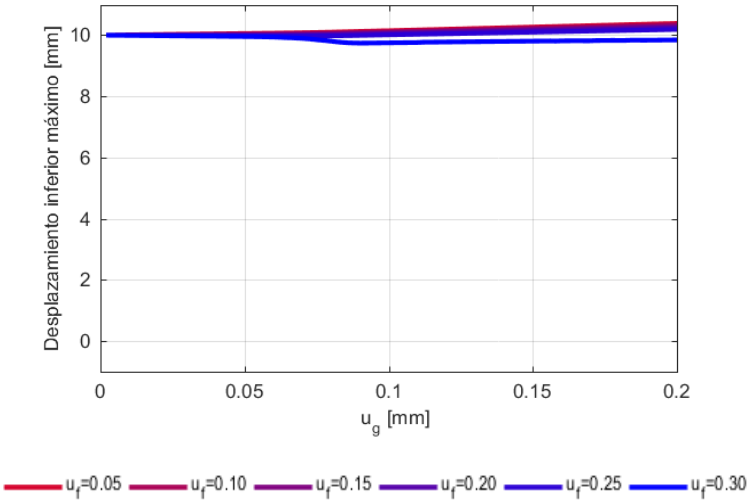


Fig. 7. Desplazamiento del extremo inferior del tubo en función del desplazamiento radial *ug* para *Lg*=100 mm

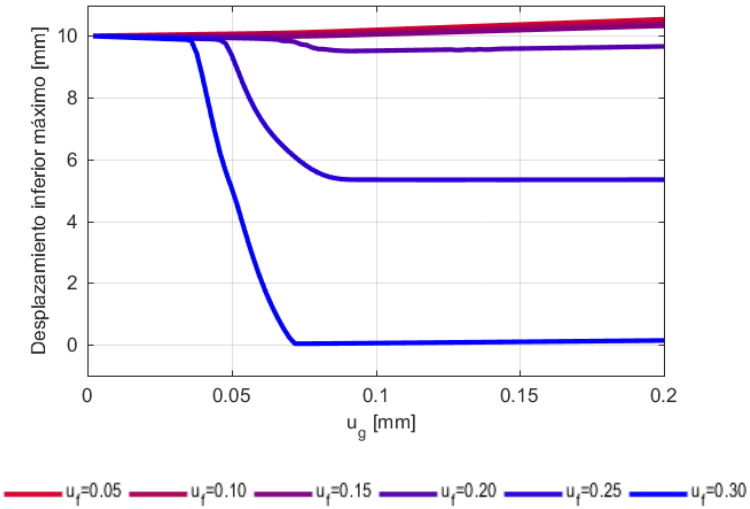


Fig. 8. Desplazamiento del extremo inferior del tubo en función del desplazamiento radial *ug* para *Lg*=150 mm

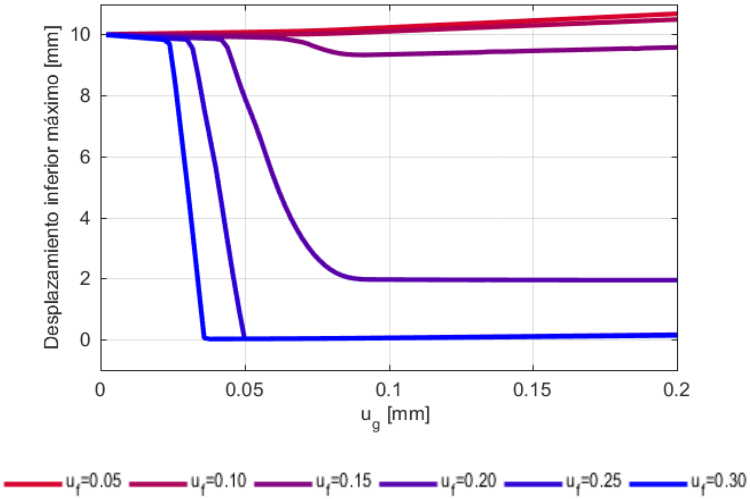


Fig. 9. Desplazamiento del extremo inferior del tubo en función del desplazamiento radial *ug* para *Lg*=100 mm

Conclusiones

Mediante experimentos numéricos, y considerando cinemática de grandes deformaciones, comportamiento elastoplástico del material y contacto, se ha investigado el problema del anclaje en el forjado de tubos de acero. En particular, se ha investigado la influencia de la longitud, el desplazamiento radial y el coeficiente de rozamiento sobre dicho problema.

En primer lugar, se ha realizado un estudio de convergencia de malla. Luego, se ha llevado adelante un estudio paramétrico analizándose un total de 1800 casos.

Como parámetro de análisis del comportamiento global se ha investigado la fuerza máxima en función del desplazamiento radial. Se ha observado que en general se presentan tres comportamientos a medida que aumenta el desplazamiento radial, a saber: relación lineal entre fuerza y ug, relación no lineal entre fuerza y ug, y por último valor constante de la fuerza. Además, para los valores analizados, se ha observado que la fuerza máxima constante no cambia para una longitud

igual o superior a 150 mm y un coeficiente de rozamiento de 0,3.

Como parámetro de análisis del comportamiento local se ha utilizado el desplazamiento inferior máximo del tubo en función del desplazamiento radial. En el rango de valores analizados una longitud de 100mm es insuficiente para el anclaje del tubo y el mismo se desliza, independientemente de los valores de desplazamiento radial y coeficiente de rozamiento adoptados. Por otra parte, una longitud de 150mm es suficiente para el anclaje del tubo y consecuentemente el mismo no se desliza si el desplazamiento radial es mayor a 0,07mm y el coeficiente de fricción es 0,3. Por último, una longitud de 200mm es suficiente para el anclaje del tubo y el mismo no se desliza siempre y cuando el desplazamiento radial sea igual o mayor a 0,05mm junto con un coeficiente de rozamiento de 0,25 o ug≥0,036mm junto con un coeficiente de rozamiento de 0,3.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento por el apoyo brindado por la Universidad Nacional de Cuyo través del proyecto “B057 Simulación de estudios paramétricos de problemas de forjado en caliente sobre entornos de Cloud Computing” otorgado por la SECTYP.

Referencias

Chen, F., Ren, F., Chen,J., Cui, Z., Ou, H. (2015). *Microstructural modeling and numerical simulation of multi-physical fields for martensitic stainless steel during hot forging process of turbine blade*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 82 1-4, 85 a 98.

Iwand, H. C., & Wagner, J. A. (2010). *Failure analysis of open end wrenches containing forging defects*. *Journal of failure analysis and prevention*, *10*(6), 520-524.

Meyer, M., Stonis, M and Behrens, B. A. (2015). *Cross wedge rolling and bi-directional forging of preforms for crankshafts*. Production Engineering, *9*(1), 61-71.

Wu, P., Wang, B., Lin, J., Zuo, B., Li, Z. and Zhou, J. (2016). *Investigation on metal flow and forming load of bi-metal gear hot*

forging process. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1 a 13.

Prabhu, T. (2016). *Simulations and experiments of hot forging design and evaluation of the aircraft landing gear Barrel Al alloy structure*. Journal of Materials Engineering and Performance, 25-4, 1257 a 1268.

Kaur, J.; Pabla, B.S. and Dhami, S.S. (2016). *A review on field areas of research in forging process using FEA*. International Journal of Engineering Research & Technology, 383 a 393

Hawryluk, M. (2016). *Review of selected methods of increasing the life of forging tools in hot die forging processes*. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 16(4), 845-866.

Tüzün, A: *Analysis of tube upsetting*. MSc Thesis, Middle East Technical University, Ankara (2004)

Morita, M., Murakami, S., Akiyama, M. (2009). *Forming limit of end thickening process of tubes by hot forging*. En: Oñate, E., Owen, D.R.J. (Eds), X International Conference on Computational Plasticity, COMPLAS X, CIMNE, Barcelona

Schnetzer, T., Careglio, C., Benvenutti, D., García Garino, C. y Mirasso, A (2017). *Estudio numérico de cargas de forjado en tubos de acero sin costura*. IX EnIDI, Mendoza, 2017, ISBN 978-950-42-0134-2

Rathi, M. G., & Jakhade, N. A. (2014). *An Overview of Forging process with their defects*. International Journal of Scientific and Research Publications.

Wriggers, P. (2002). *Computational contact mechanics*. John Wiley & Sons, Chichester.

Careglio, C. (2017). *Respuesta mecánica global y local en problemas elastoplásticos con grandes deformaciones*, PhD. Thesis, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.

Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L. (1994). *The finite element method*. Vol. 1-2, McGraw Hill, Madrid.

ANSYS® (2017). *Documentation Release 17.0,* Help System, Structural Analysis Guide ANSYS, Inc

Sajadifar,S.V., Ketabchi, M. and Nourani, M. (2011). *Modeling of mechanical characteristics in hot deformation of 4130 steel*. Steel Research International, 82(8), 934 a 939.

* * *

20

Avances en el Proyecto para Detección Precoz y Neurofeedback en Personas con Síndrome del Espectro Autista TEA

Antonio Álvarez Abril, Santiago Perez,

Nelson Dugarte Jerez, Adolfo Gonzalez

Resumen: Estudios modernos han demostrado que las neuronas espejo están involucradas en el desarrollo de la empatía social. La disfunción de las neuronas espejo en la ínsula y la cíngula anterior del cerebro pueden causar problemas relacionados con la ausencia de empatía y la carencia de las mismas en el girus angular puede ser la causante de problemas del aprendizaje en el lenguaje y la comunicación. En consecuencia, una deficiencia en las redes neuronales espejo podría ser una de las causas prevalentes del trastorno del espectro autista (TEA). La detección temprana de las deficiencias en los sistemas de redes neuronales espejo, podría permitir la aplicación eficiente de terapias comportamentales. Otra perspectiva interesante se abre con la aplicación de técnicas de neurorealimentación a través del seguimiento y la medición del "índice MU", a partir de ciertos ejercicios diseñados específicamente para este tipo de síndrome. Esto permitiría incrementar la plasticidad cognitiva del cerebro en mejoramiento de la conducta social del paciente. Este proyecto pretende la identificación del TEA basados en registros electro-encefalográficos (EEG) y su correlación con plataformas de neurofeedback que permitan realizar "entrenamientos" o sesiones de terapia activa del paciente, en escenarios de ambiente controlado con el uso de entornos en realidad virtual y fotometría de escénica modelada en 3D de su vida cotidiana. Por razones de espacio, en este artículo solo se presenta una parte del proyecto, referente a la aplicación de instrumentación en busca de patrones que permitan identificar los problemas cognitivos asociados al TEA, basados en la clasificación de un "Índice MU" asociado al comportamiento del paciente mientras se desarrollan pruebas condicionadas bajo un formato específico.

Palabras claves: Detección, trastorno del espectro autista, neuronas espejo, onda mu, electroencefalografía.

Introducción

El sistema nervioso organiza, dirige y controla las funciones de todos los sistemas del organismo (Ganong,1999). Por ejemplo caminar, nadar, oler un perfume o manejar un auto. También existen mecanismos de acto reflejo que se dan cuando enfrentamos posibles situaciones peligrosas, como acercar la mano desprevenidamente a una superficie caliente.

El cerebro está compuesto por millones de neuronas. Cada neurona tiene entre 1500 y 9000 conexiones con otras neuronas. La actividad cerebral consiste en el procesamiento de la información que existe entre esos billones de conexiones nerviosas. Esta intrincada red nerviosa está asociada a procesos como la inteligencia y el pensamiento abstracto. Las emociones más primitivas como el miedo o el placer, o sentimientos como el amor y el altruismo son respuesta de las estructuras neuronales (Arango, 2004).

Pero en una red tan grande y compleja es posible que se presenten fallas que desencadenen patologías cognitivas. El trastorno del espectro autista (TEA) es una condición neurológica y de desarrollo que comienza en la niñez, y puede durar toda la vida (Vera, 2012). A menudo, no hay indicios en el aspecto de las personas con TEA que los diferencien de otras personas, pero es posible que quienes tienen un TEA se comuniquen, interactúen, se comporten y aprendan de maneras distintas a otras personas. Parecieran estar en su "propio mundo" (Vázquez, 2014).

Según Vera y Vázquez, existen varios grados de autismo. En la mayoría de los casos, se manifiestan entre los 3 y los 5 años de edad, presentando comportamientos atípicos, cómo hamacarse con el cuerpo, sacudir los brazos, obsesionarse con ciertos objetos o acciones. Algunos presentan retardo mental, mientras otros pueden presentar una inteligencia superior al promedio.

Los últimos datos epidemiológicos disponibles muestran que la prevalencia de casos dentro de los trastornos del espectro autista es de 6,5 cada 1.000 nacimientos (Valdez y Ruggeri,

2011). El Centro para el Control y Prevención de las Enfermedades de USA en 2014, registró que 1 de cada 59 niños de 8 años de edad, en 11 comunidades de distintas partes de los Estados Unidos, presentaban síntomas de autismo (CDC, 2018).

En la primera década del siglo 21, Vilayanur S. Ramachandran, de la Universidad de California en San Diego, comenzó a estudiar la relación entre los sistemas de neuronas espejo y el TEA (Ramachandran, 2009). En experimentos posteriores, se ha observado que las personas con TEA no presentan la respuesta eléctrica en la corteza cerebral, como lo hacen las personas normales. Estudios con imágenes han demostrado que los sistemas de redes neuronales espejo están asociadas a núcleos cerebrales relacionados con el aprendizaje del lenguaje, el manejo de la emocionalidad y la percepción de cómo nos ven los demás (Bautista y Navarro, 2011).

Un modo de detectar el comportamiento de los sistemas de neuronas espejos fue ensayado por Ramachandran and Altschuler en la Universidad de California en San Diego (UCSA), a través de la detección de Ondas MU (Obermana et al., 2005) a partir de Electroencefalografía (EEG) (Ramos et al., 2009), de manera tal que cuando la persona realiza una actividad neuromuscular, estas ondas cerebrales se inhiben y lo mismo sucede con quien la observa a través del mecanismo de neuronas espejo.

La detección temprana de las deficiencias en los sistemas de redes neuronales espejo, podría permitir la oportuna aplicación de terapias comportamentales de manera tal que sean más efectivas. Otra perspectiva interesante se abre con la aplicación de técnicas de neuro-realimentación a través del seguimiento y a medición del "índice MU" a partir de ciertos ejercicios diseñados específicamente para este tipo de síndrome (Bautista y Navarro, 2011).

Este proyecto plantea la definición y clasificación de un "Índice MU" asociado al TEA, y luego su correlación y seguimiento con plataformas de neurofeedback, que permitan realizar

"entrenamientos" o sesiones de terapia activa del paciente en escenarios de ambiente controlado, con el uso de realidad virtual y fotometría de escénica modelada en 3D de su vida cotidiana.

Este artículo presenta un avance en el desarrollo del proyecto, referente a la aplicación de instrumentación en busca de patrones que permitan identificar los problemas cognitivos del TEA. Específicamente, se muestra la implementación de una técnica para identificación de un "Índice MU" en la señal electroencefalográfica, asociado al comportamiento del paciente mientras se desarrollan pruebas condicionadas bajo un formato específico.

Metodología

Con el sistema se pretende la identificación de TEA basados en registros EEG. Para esto se desarrolló un programa protocolizado, para la adquisición del EEG y la aplicación de técnicas de análisis de señales, en busca de marcadores que permitan identificar el funcionamiento de las neuronas espejo.

Las mediciones se realizan en el Instituto Regional de Bioingeniería (IRB), adjunto al Centro de Computación y Neurociencia (CeReCoN), de la Universidad Tecnológica Nacional – Regional Mendoza (FRN-UTN).

Protocolo para la adquisición del EEG

El protocolo experimental implementado fue diseñado con ayuda de médicos neurólogos, con el propósito de establecer marcadores claros en los intervalos de tiempo, donde se puedan identificar la presencia de ondas mu. El estudio corresponde a la medición del EEG, con manipulación de variable independiente a nivel del estímulo visual y comparación intra-caso de línea base (movimiento no biológico) respecto del estímulo objetivo (movimiento biológico) (Roussos, 2007).

El movimiento no biológico consistió en un video que solo muestra el movimiento aleatorizado de partículas esféricas de color naranja sobre un fondo negro. El movimiento Biológico

presenta un video con una mano humana presionando un cubo plástico de color blanco, sobre un fondo unicolor. La Tabla 1, presenta el protocolo implementado en el experimento para todos los pacientes control.

Tabla 1. Condiciones generales en el experimento: ambiente silencioso, paciente con ojos abiertos y parpadeo normal, mirada fija sobre un monitor de 42” de plasma para la reproducción de los estímulos.

Actividad	Tiempo (seg)	Video Estimulo
Inicio del EEG	00	Movimiento No biológico
Inicio validable	385	Movimiento No biológico
--	445	Movimiento biológico
--	505	Movimiento No biológico
--	565	Movimiento biológico
--	625	Movimiento No biológico
--	685	Movimiento biológico
Final del EEG	800	Movimiento biológico

El protocolo de la Tabla 1 pretende evidenciar en el EEG la respuesta de empatía del paciente control. El tiempo inicial superior a 6 minutos es para descartar las alteraciones de las actividades comunes del paciente.

El grupo de pacientes que constituyó la muestra fue no probabilística y estuvo compuesta por voluntarios de sexo masculino, residentes en la ciudad de Mendoza, con edades comprendidas entre 16 y 25 años, sin diagnóstico de trastornos mentales ni enfermedades orgánicas.

Los EEGs se registraron utilizando un electroencefalógrafo digital Akonic BIO-PC de 64 canales, con velocidad de adquisición de 256 muestras por segundo y 16 bits de resolución por muestra.

Se adquirieron 21 canales en cada experimento identificados como: Fp1-F3-C3-P3-O1-F7-T3-T5-A1-Fp2-F4-C4-P4-O2-F8-T4-T6-A2-Fpz-Fz-Cz. Todos los arreglos de amplificación se tomaron monopolar, con referencia auricular cortocircuitado (A1+A2) en los lóbulos de las orejas. Se utilizaron electrodos de copa orificados, dispuestos de acuerdo al sistema internacional 10-20 (Talamillo, 2011). Se ajustó la impedancia por debajo de los 30kilohm (KΩ) para todos los canales, colocando la referencia del sistema entre las posiciones Oz y Pz. La tierra en la posición Fz. Se realizó una luxometría a la altura de los ojos del paciente, para conocer la cantidad de luz emitida por los dos estímulos respectivos, resultando en 7 Lum para movimiento no biológico y 12 Lum para movimiento biológico. La Fig. 1, muestra uno de los pacientes control preparado para el experimento.

Fig. 1, Paciente control preparado para el experimento.

Todos los experimentos fueron supervisados por un profesional médico con experiencia en el campo. Los análisis

de señales se realizaron con los algoritmos de procesamiento desarrollados por nuestro grupo de investigación.

Procesamiento

Todo el procesamiento se realizó utilizando la aplicación MatLab bajo el entorno de Windows. El diagrama de flujo de la **Fig. 2**, muestra la secuencia en que se realiza el procesamiento con el software desarrollado en MatLab.

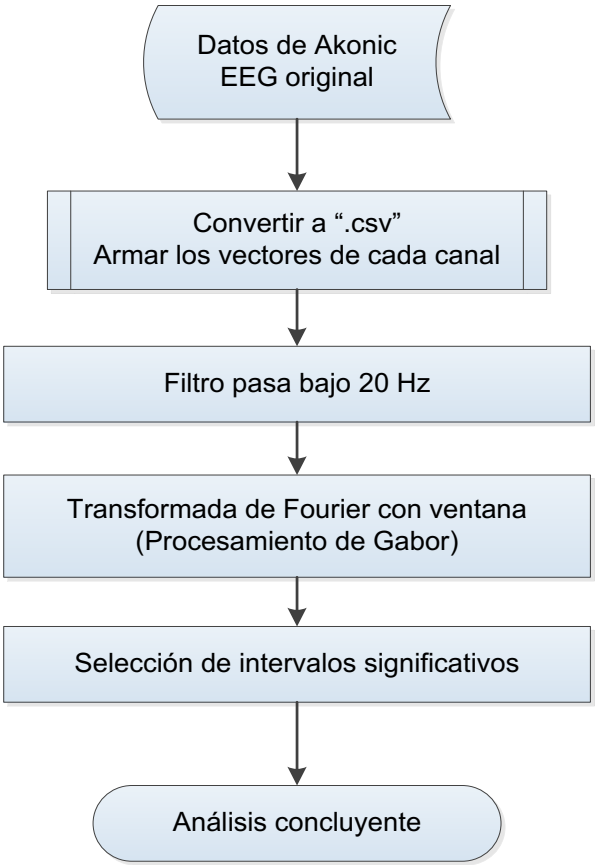


Fig. 2, Secuencia en que se realiza el procesamiento.

El software del equipo Akonic exporta los datos de cada EEG en un formato solo apto para análisis del mismo equipo. Por consiguiente fue necesario convertir los datos a una extensión con formato ANSI (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares) con extensión ".csv". Seguidamente, se reorganizan los datos de la matriz original, obtenida del software de Akonic, para establecer los vectores con la información EEG de cada canal.

Dado que los patrones de ondas Mu que se desean identificar se encuentran en un espectro de frecuencias entre 5 y 15 Hz, a continuación se aplica un filtro pasa bajo recursivo con frecuencia de corte Fc = 20Hz. El filtro está definido por la ecuación 1, donde X conforma la señal de entrada, Y los datos de salida, C1 y C2 los coeficientes del filtro.

$$Y(i) = C1[X(i) - X(i-1)] + C2[Y(i-1)] \qquad (1)$$

Las ecuaciones 2 y 3 permiten calcular los coeficientes C1 y C2 a partir de la frecuencia de corte Fc y del periodo de muestreo T.

$$C1 = \frac{1}{1 + tg(Fc \cdot \pi \cdot T)} \qquad (2)$$

$$C2 = \frac{1 - tg(Fc \cdot \pi \cdot T)}{1 + tg(Fc \cdot \pi \cdot T)} \qquad (3)$$

El paso siguiente en el algoritmo consistió en realizar la transformada de Fourier sobre una ventana que se desliza con intervalos de 1 segundo (s) sobre todo el registro adquirido, también conocido como procesamiento de Gabor (González, 2014). La Fig. 3, presenta un gráfico en 3D donde se puede observar la variación de la potencia de las componentes de frecuencia en los diferentes intervalos de tiempo sobre 810s del canal C3.

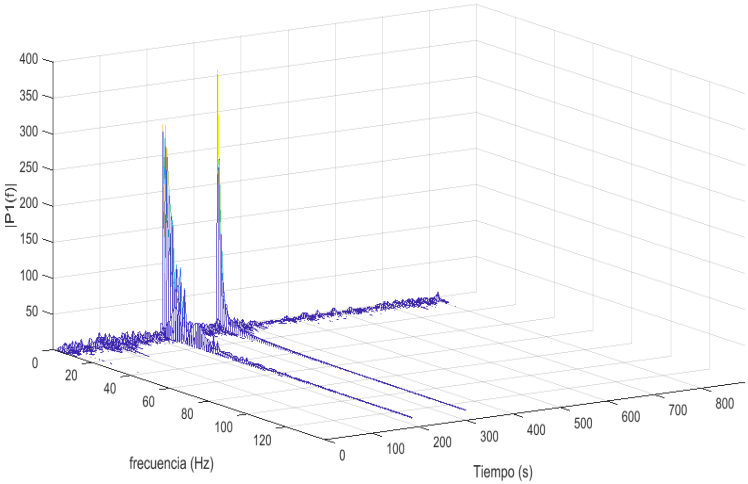


Fig. 3, Gráfico 3D que presenta las componentes de frecuencia en intervalos temporales, sobre 810s del canal C3.

Luego se analizaron intervalos de tiempo de 10s, (5s antes y 5s después del cambio de estímulo). Para realizar el análisis se toman 5s antes del estímulo, con el propósito de asegurar que el procesamiento tome en cuenta el momento en que sucede el evento. Y se toman 5s después del estímulo, dado que la bibliografía consultada expresa que las respuestas de empatía se producen casi de forma inmediata al estímulo visual. La unidad de medida escalar utilizada para medir el espectro de frecuencia fue la potencia absoluta expresada en micro-watts (μW).

Resultados

Para observar el comportamiento del ritmo MU en el tiempo, se analizaron los espectros de frecuencia en intervalos de tiempo de 10s que contuvieran el efecto del estímulo. Los canales de EEG con resultados más significativos son las derivaciones C3, CZ, y C4. En el análisis se hizo hincapié en las alteraciones de frecuencia en el rango de 5 a 15 Hz.

La Fig. 4, muestra un acercamiento del gráfico obtenido con el procesamiento de Gabor, en uno de los intervalos de tiempo, donde ocurre un cambio del estímulo de movimiento No biológico a movimiento biológico. Como resultado del estímulo visual se experimenta un cambio notable de la potencia absoluta del espectro entre 9Hz y 12Hz

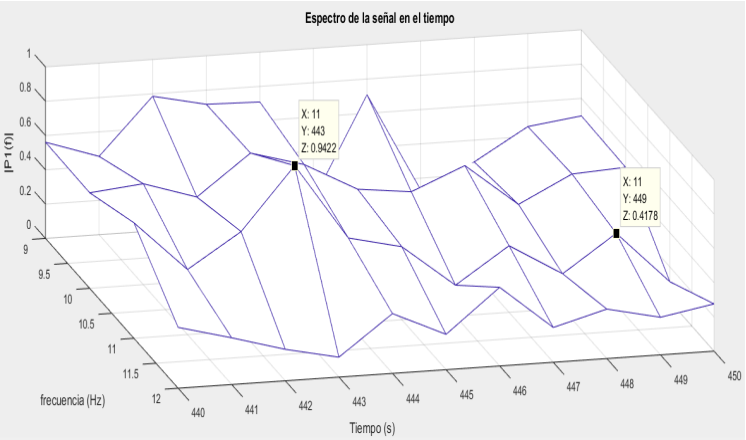


Fig. 4, Acercamiento del gráfico de Gabor, con cambio notable de la potencia absoluta del espectro entre 9Hz y 12Hz.

Discusión de los resultados

Los resultados obtenidos en la mayoría de los experimentos presentan características idénticas. La relevancia del cambio que se cuantifica en la potencia absoluta del espectro en el rango de frecuencias de 9Hz a 12Hz, hace evidente la influencia de las neuronas espejo como respuesta al estímulo que se presenta al paciente.

Debe recalcarse que la mayoría de los pacientes control involucrados presentaron respuestas similares, lo que hace presumir que se cuenta con una herramienta con cierto grado de confiabilidad en la evaluación de la influencia de la empatía sobre los sujetos de prueba. Pero debido a que aún no se realizan pruebas con pacientes con TEA no se pueden definir

los niveles de error en porcentajes de falsos negativos y falsos positivos sobre los índices de detección.

Conclusiones

En primer lugar se destacó la importancia de las componentes frecuenciales entre 9Hz y 12Hz, especialmente, en las derivaciones C3, C4 y Cz, las cuales mostraron un patrón de comportamiento acorde a lo esperado, en el rango de frecuencias en que se presenta el ritmo MU. Si bien en algunos casos resultó más evidenciado que en otros, se puede observar la disminución de la potencia absoluta de las componentes frecuenciales en ese rango, cuando el paciente control pasó de visualizar movimientos no biológicos a visualizar movimientos biológicos.

Los resultados preliminares con el procesamiento desarrollado arrojaron índices satisfactorios, por consiguiente, se considera positiva su utilización para futuros estudios. El la continuación del trabajo con este proyecto se pretende realizar el análisis a una población de pacientes control con TEA, y mejorar el algoritmo para la detección automática de mínimos y máximos en la evaluación del intervalo donde ocurre el cambio del estímulo.

La meta final es desarrollar un algoritmo que correlacione el nivel de empatía con el contraste de “mundo intenso” presentado en un ambiente controlado. Esto permitiría crear un neuro fit-back que module la plasticidad del cerebro en busca de mejorar la condición socio emocional del paciente.

Agradecimientos

Se agradece al Instituto Regional de Bioingeniería (IRB), adjunto al Centro de Computación y Neurociencia (CeReCoN), de la Universidad Tecnológica Nacional de la República Argentina por su colaboración científica y tecnológica en el desarrollo del proyecto. También se agradece al Grupo de Ingeniería Biomédica (GIBULA) de la Universidad de Los Andes en Mérida, Venezuela por el apoyo prestado. Así mismo, se hace extensivo el agradecimiento a

todas las personas e instituciones que han permitido que este proyecto sea factible.

Referencias

Arango C., Pimienta H. El cerebro: de la estructura y la función a la psicopatología. Revista Colombiana de Psiquiatría. 2004; 33 (1).

Bautista J, Navarro JR. Neuronas espejo y el aprendizaje en anestesia. Rev. Faca. Med. 2011; 59:339-351.

Centro para el Control y Prevención de las Enfermedades, CDC. Prevalencia del autismo levemente más alta según informe de la Red ADDM de los CDC. Disponible en: https://www.cdc.gov/spanish/mediosdecomunicacion/comunicados/p_prevalencia-autismo_042618.html. Última visita: Sept. 2018.

Ganong W., "Fisiología Médica. Manual Moderno", 17ª Edición, Editorial McGraw-Hill. México, D.F., 1999.

González, J. Transformadas Wavelet impacto fundamental en procesamiento de señales y compresión de imágenes. Tesis Fac. Ciencias Básicas, Univ. Tecnológica de Pereira. Colombia. 2014.

Obermana, L., Hubbarda, E., McCleeryb, J., Altschulera, E., Ramachandrana, V., Pinedad, J. EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. Cognitive Brain Research. 2005; 24 (2): 190-198.

Ramachandran, VS. Mirror neurons and imitation learning as the driving force behind "the great leap forward" in human evolution. Revista Edge. 2009; 1 (6).

Ramos, F., Morales, G. Egozcue, S., Pabón, R., Alonso, M. Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas. Servicio de Neurofisiología Clínica del Hospital Virgen del Camino. Pamplona. 2009; 32 (3): 69-82

Roussos, J. El diseño de caso único en investigación en psicología clínica, Un vínculo entre la investigación y a práctica clínica. Revista Argentina de Clínica Psicológica. 2007; 16 (3): 161-170.

Talamillo, T. Manual básico para enfermeros en electroencefalografía. Revista de la Junta Médica de Andalucia, Enfermería Docente. 2011; 94: 29-33.

Valdez D., Ruggieri V. Autismo, del diagnóstico al tratamiento. Editorial Paidós. Buenos Aires. 2011.

Vázquez M. Trastorno del espectro autista. Departamento de Educación Especial Aguascalientes. México, 2014.

Vera J., Autismo temprano, neuronas espejo, empatía, integración sensorial, intersubjetividad. Cuadernos de Psiquiatría y Psicoterapia del Niño y del Adolescente, 2012; 54 (1): 79-91.

* * *

21

Avances en el Desarrollo de un Sistema de Espirometría con correlación ECGAR para la Detección Temprana de Enfermedades Cardiorrespiratorias

Antonio Álvarez Abril, Santiago Perez,

Nelson Dugarte Jerez, Adolfo Gonzalez

Resumen: En este artículo se presenta un sistema innovador que pretende la integración de las técnicas de espirometría existentes con la electrocardiografía de alta resolución. Estudios modernos han demostrado un alto grado de relación entre el trabajo pulmonar y la respuesta cardiaca. El trabajo apunta a la detección de índices cualitativos y cuantitativos que permitan al médico especialista realizar un diagnóstico de mayor definición, con el propósito de detectar enfermedades del sistema cardiorrespiratorio en su fase temprana. Esto es posible, por medio de la interpretación analítica de las señales cardiacas en contraste con la respuesta del trabajo pulmonar. El sistema consta de una parte hardware y un desarrollo de software. El hardware está conformado por un espirómetro digital y un electrocardiógrafo de alta resolución de diseño propio. La etapa de software se enfoca en el análisis de las señales, tanto ECGAR como espirométricas, adquiridas individualmente pero con breves diferencias de tiempo, durante una misma consulta médica.

Palabras Clave: Espirometría, Electrocardiograma de alta resolución (ECGAR), Algoritmo de procesamiento, Análisis de señales digitales.

Introducción

La espirometría es una técnica de valoración médica para el estudio de la función pulmonar. Se utiliza para evaluar la respuesta del trabajo respiratorio midiendo el volumen de aire que los pulmones pueden movilizar en función del tiempo. Se puede representar gráficamente en función de volumen sobre tiempo o sus derivadas como flujo sobre volumen.

La espirometría puede ser simple o forzada. La diferencia radica en la intensidad con que se solicita al paciente que expulse el aire contenido en una inspiración máxima. Algunos estudios como la medición de la Capacidad Vital Forzada (FVC), permite conocer el volumen pulmonar total del paciente. La Fig. 1, muestra una curva típica de FVC.

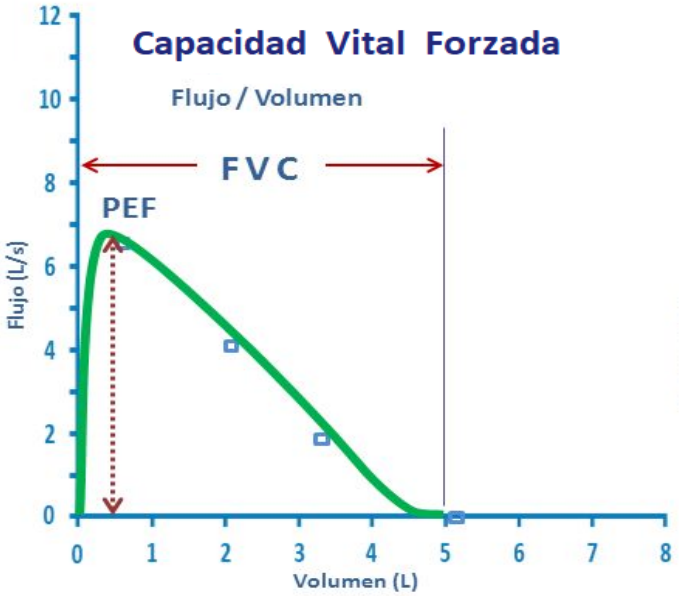


Fig. 1, Curva típica de FVC en el estudio de espirometría.

La espirometría es una exploración sencilla, reproducible, no invasiva y muy representativa de la capacidad ventilatoria del paciente (1) y es una prueba crítica para el diagnóstico y la vigilancia de enfermedades pulmonares crónicas, tales como el asma y la EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica) (2).

La invención del espirómetro se le adjudica al médico inglés John Hutchinson quien también estableció la mayoría de los parámetros espirométricos, tales como la capacidad vital, la

cual veía como un poderoso indicador de longevidad. Su espirómetro consistía en una campana calibrada sumergida en agua, la cual capturaba el aire exhalado de los pulmones (2) (3).

Cuando se respira, los pulmones toman el oxígeno del aire y lo llevan al torrente sanguíneo. Las células de su cuerpo necesitan oxígeno para funcionar y crecer. Durante un día normal una persona promedio respira aproximadamente 25.000 veces (4) (5). Enfermedades respiratorias como el asma, la EPOC, la rinitis alérgica, las enfermedades pulmonares de origen laboral y la hipertensión pulmonar, pueden transformarse en enfermedades respiratorias crónicas (ERC) si no se tratan a tiempo (1) (5) (6).

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (7), se estima que en el mundo 235 millones de personas padecen asma y 64 millones padecen EPOC. La misma fuente indica que mueren anualmente alrededor de 4 millones de personas a causa de las ERC, siendo la EPOC la principal responsable. En Argentina, solo tenemos un conocimiento parcial de este problema (1). Estudios orientados por la Asociación Latinoamericana de Tórax (ALAT) estiman la prevalencia global de EPOC en 10% para individuos mayores de 40 años, con un incremento notable en el número de casos en las poblaciones más vulnerables y en los habitantes de las zonas con mayores dificultades de acceso (1) (6) (7).

La espirometría es un estudio comúnmente utilizado para evaluar el trabajo pulmonar como sistema independiente. El problema es que todos los sistemas fisiológicos que componen al individuo están relacionados de alguna manera (4), y está bien documentado en las referencias bibliográficas que el funcionamiento del sistema respiratorio está muy relacionado con la respuesta del sistema cardiovascular (4) (8).

El electrocardiograma o ECG (4), consiste en la captación de las señales eléctricas originadas por la actividad de biopotenciales en el corazón. La señal captada presenta características diferentes en función del ángulo en que se

coloquen los electrodos sobre el cuerpo. Se han estandarizado 12 derivaciones que conforman la representación gráfica de la señal cardiaca desde todos los ángulos (4) (9). Las derivaciones estándar son: I, II, III, aVR, aVL, aVF, V1, V2, V3, V4, V5, V6.

Estudios modernos presentan las relaciones entre las enfermedades cardiovasculares y los valores de tiempo de los diferentes elementos que conforman la señal ECG (4) (10). La Fig. 2, presenta el registro correspondiente a un latido cardiaco, donde se identifican algunos de los intervalos que la componen.

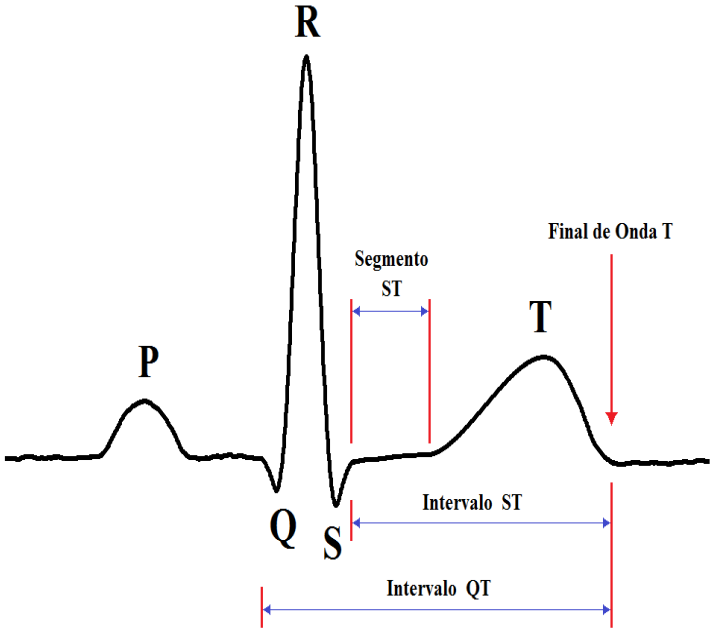


Fig. 2. Señal ECG señalando los diferentes intervalos.

El intervalo QT del Electrocardiograma es un indicador de la repolarización ventricular. Las relaciones en los cambios del QT, son utilizadas para evaluar el riesgo de arritmias y muerte

súbita. Las alteraciones en este intervalo se pueden presentar como alargamientos o acortamientos del tiempo (11). Las relaciones entre el ST y la isquemia, los cambios del QT como respuesta a los medicamentos, las alteraciones del complejo QRS en función de la cardiopatía y otros índices, sugieren el tratamiento o la intervención del paciente en función de los criterios del médico especialista (4) (11).

Estudios realizados desde el año 2015, en el Instituto Regional de Bioingeniería (IRB) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) en la República Argentina, han generado una serie de productos de innovación tecnológica en cuanto al hardware de adquisición del ECGAR de 12 derivaciones (12) (13) y al software de manipulación (14) y análisis de la señal, enmarcados dentro del proyecto denominado DIGICARDIAC. Estos trabajos de investigación y desarrollo científico están orientados a la implementación amigable y eficiente de un sistema de electrocardiografía de alta definición en busca de índices cuantificables que permitan a los médicos especialistas diagnosticar patologías cardiacas en su fase temprana (15).

El objetivo de este proyecto es desarrollar la instrumentación y las técnicas requeridas para la utilización conjunta de un espirómetro digital en conjunto con el sistema DIGICARDIAC. Aunque el estudio espirométrico y el ECG son adquiridos por separado, cabe destacar que las adquisiciones se realizan en una misma consulta médica, con lapsos de tiempo relativamente cortos, y por consiguientes presentan patrones que se pueden correlacionar con las patologías que el paciente presente al momento del estudio. Los algoritmos de procesamiento que se desarrollan pretenden la evaluación tanto gráfica como de parámetros tabulados, que puedan generar índices cuantitativos y cualitativos de las enfermedades cardiopulmonares en su fase temprana.

Por razones de espacio, en este artículo solo se reporta el desarrollo de la instrumentación para espirometría. La instrumentación concerniente al DIGICARDIAC está bien documentada en publicaciones anteriores (12) (13) (14) (15), y

la metodología del procesamiento de señales se presentará en futuras publicaciones.

Metodología

Un espirómetro es un instrumento de uso médico utilizado para medir el estado funcional del pulmón (2). En rasgos generales, un equipo comercial está compuesto por un elemento sensor de flujo de aire, un transductor y un elemento de medición. El diagrama de la Fig. 3, presenta un esquema descriptivo de las partes que conforman la etapa de espirometría.

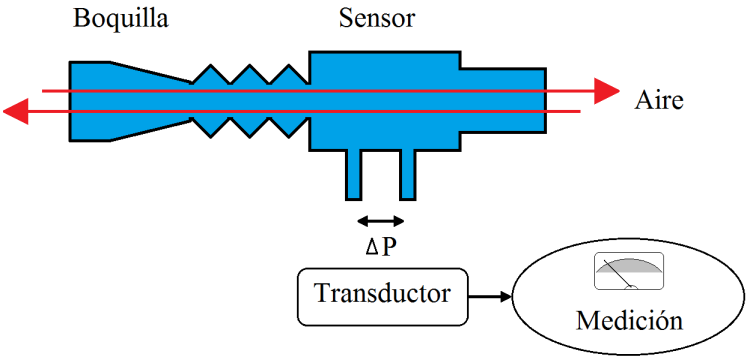


Fig. 3, Esquema general de un espirómetro común.

En los equipos modernos, el elemento de medición está conformado por un circuito de adquisición de señales y una etapa de procesamiento digital, algunas veces acompañada (solo en los equipos más costosos) por una etapa analítica del resultado obtenido (6) (9).

El instrumento desarrollado en el CERECON utiliza todas las partes que conforman un espirómetro comercial y se integra con los elementos que constituyen un electrocardiógrafo multicanal de alta resolución.

El sensor de flujo

El flujo de aire que espira y aspira el paciente en el examen médico de espirometría, se registra midiendo la respuesta que

entrega un sensor. Este dispositivo funciona aprovechando el principio Venturi (16). La Fig. 5, muestra un diagrama descriptivo del tubo Venturi.

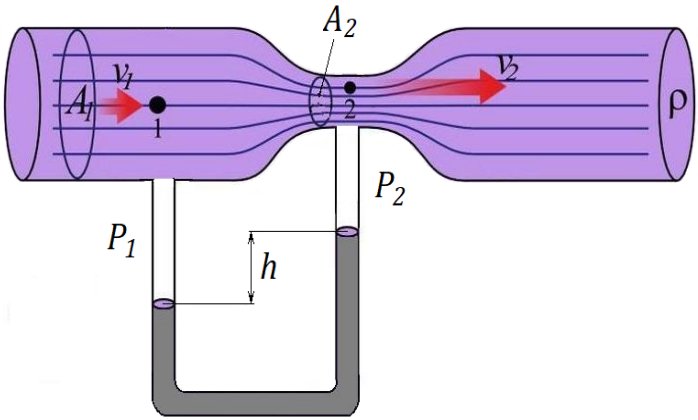


Fig. 4, Diagrama descriptivo del tubo Venturi.

El tubo Venturi utiliza la diferencia de presión “h” que se genera cuando el fluido pasa por una sección reducida del conducto. El estrechamiento en el tubo dado por la diferencia de sección entre “A1” y “A2” causa un cambio en la velocidad del fluido, que trae como consecuencia un diferencial de presión proporcional al flujo que lo atraviesa.

El sensor utilizado es del tipo comercial, normalizado para ser utilizado en espirómetros distribuidos como instrumentos médicos. La descripción proporcionada por el fabricante de este tipo de sensor garantiza una respuesta lineal en el diferencial de presión dentro del rango de medición de flujo de utilidad para espirometría. En este tipo de instrumentos el rango de caudal que representa información de utilidad médica está entre 0,01 y 7 litros por segundos (lts/s). La Fig. 5, presenta el aspecto físico del sensor de flujo utilizado.

Fig. 5, Aspecto físico del sensor de flujo utilizado.

El problema principal con este dispositivo del tipo comercial, es que utiliza una conexión muy particular para el acoplamiento de las derivaciones de P1 y P2, por lo cual se elaboró un diseño propio de este tipo de conector en SolidWorks, y se construyó utilizando impresión 3D. En la Fig. 6, se muestra el conector diseñado acoplado al sensor de flujo.

Este tipo de conector permite acoplar el sensor a mangueras comunes de 5 milímetros (mm), con las cuales se comunican las presiones P1 y P2 al dispositivo sensor de presión diferencial.

Fig. 6, Conector diseñado para el sensor de flujo.

Sensor de Presión Diferencial

Está compuesto por el dispositivo electrónico MPX5010 (17). Este componente es un sensor integrado de presión de silicio fabricado por “Freescale Semiconductor, Inc.”. Funciona con transductores piezoresistivos de presión monolíticos, con metalización de película fina, que se encuentran acoplados a un circuito de procesamiento bipolar. Esto permite obtener una señal de salida analógica de 0,2 a 4,7 Volts (V) proporcional al diferencial de presión en el rango de 0 a 10kPa (0 a 1,45 psi) (0 a 1019,78 mmH2O). Definidos con una sensibilidad de 450mV/kPa (4,413mV/mmH2O) .

La Fig. 7, presenta una imagen comparativa del dispositivo utilizado como sensor de presión diferencial con una moneda. La conexión de los conductos de aire al acoplador utilizado para el sensor de flujo, se realiza por medio de mangueras de látex de alta resistencia. el error por acoplamiento se considera nulo debido a que todos los componentes del sistema se encuentran fijos en el ensamblado del hardware.

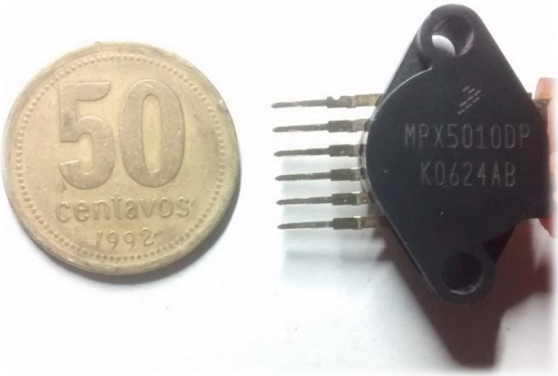


Fig. 7, Sensor de presión diferencial utilizado en el sistema.

Acondicionamiento de Señales

Esta etapa del sistema está compuesta por una tarjeta electrónica programable Arduino UNO (18) (figura 4), el cual es una placa de microcontrolador basada en el ATmega328P (19). Tiene 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 se pueden usar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio.

Una vez transformado los niveles de flujo a señales eléctricas, se realiza la digitalización de la señal y la transmisión de la información al computador, vía USB. El software se desarrolló totalmente bajo la plataforma de Linux y los algoritmos se programaron utilizando la herramienta de desarrollo Python.

Resultados

La imagen de la Fig. 8, presenta hardware del prototipo espirómetro ensamblado. El desarrollado se encuentra actualmente en proceso de calibración, sin embargo, las pruebas preliminares señalan un excelente desempeño del dispositivo.

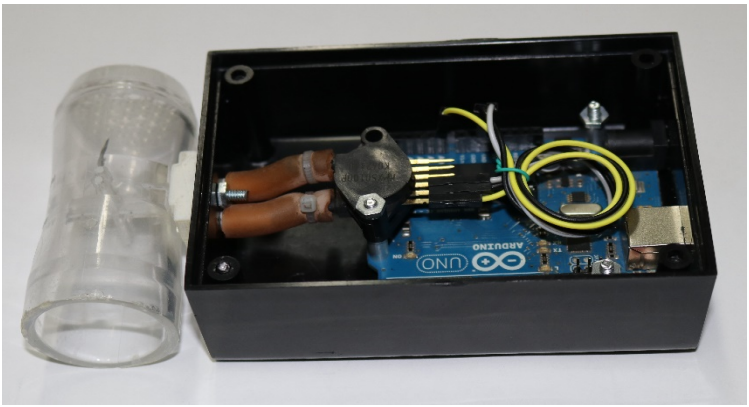


Fig. 8, Hardware del prototipo del espirómetro ensamblado.

Conclusiones

El desarrollo de este proyecto permite establecer nuevos parámetros en la detección y el tratamiento de enfermedades cardiorrespiratorias. La importancia intrínseca del instrumento en desarrollo está en la detección de las patologías en su fase temprana, ya que es cuando se pueden tratar de forma más eficiente y con menor impacto en el uso de medicamentos.

Las pautas de innovación en este proyecto también tienen un enfoque en el desarrollo de tecnología propia. Esto permite aplicar la instrumentación adecuada a los problemas que son de mayor impacto en la región, reduce los costos de producción y garantiza el funcionamiento del dispositivo.

Agradecimientos

Se agradece al Instituto Regional de Bioingeniería (IRB), adjunto al Centro de Computación y Neurociencia (CeReCoN), de la Universidad Tecnológica Nacional de la República Argentina por su colaboración científica y tecnológica en el desarrollo del proyecto. También se agradece al Grupo de Ingeniería Biomédica (GIBULA) de la Universidad de Los Andes en Mérida, Venezuela por el apoyo prestado. Así mismo, se hace extensivo el agradecimiento a

todas las personas e instituciones que han permitido que este proyecto sea factible.

Referencias

(1) Villar F, Jareño J, Álvarez R, Walther S. Patología respiratoria, manual de procedimientos de diagnóstico y control. Publicado en Neumo-Madrid. Editorial Gráficas Enar, S.A. Madrid. 2007

(2) Vázquez JC, Pérez JR. Interpretación de la espirometría en 10 pasos. México. ALAT. 2008.

(3) Kiraly A. History of Spirometry. JPHAS (Journal for Pre-Health Affiliated Students). 2005. Disponible en: https://web.archive.org/web/20100110035552/http://www2.uic.edu/orgs/jphas/journal/vol4/issue1/features_ak.shtml, Último acceso: Mayo 2017.

(4) Ganong W. Manual Moderno de Fisiología Médica. 17ª Edición. Editorial McGraw-Hi ll. México D. F. 1999.

(5) MedlinePlus (2016). Biblioteca Nacional de Medicina de los EEUU. Enfermedades de los pulmones. Disponible en: https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/lungdiseases.html, Último acceso: Mayo 2016.

(6) Asociación Latinoamericana del Tórax (ALAT) (2011). Recomendaciones para el diagnóstico y tratamiento de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Disponible en: www.alatorax.org, Último acceso: Mayo 2016.

(7) Organización Mundial de la Salud. Enfermedades respiratorias crónicas. Disponible en: http://www.who.int/respiratory/es/, Último acceso: Enero 2016.

(8) Universidad de Alicante. Anatomía y fisiología cardiopulmonar, documento editado por el departamento de publicaciones de la Universidad de Alicante. España. 2013.

(9) González J. Tutorial de Electrocardiograma. España: Publicaciones del Servicio de Cardiología UCC, Complejo Hospitalario Universitario de Santiago de Compostela; 2008.

(10) Centro de información cardiovascular. (2007). Anatomía del corazón. Disponible en http://www.texasheartinstitute.org/. Último acceso: Junio 2009.

(11) Lanjewar P, Pathak V, Lokhandwala Y. Issues in QT interval measurement. Indian Pacing and Electrophysiology Journal. 2004; 4 (1): 156-161.

(12) Dugarte N, Medina R, Rojas R. Desarrollo del Prototipo de un Sistema de Adquisición de Datos para la Digitalización de la Señal Electrocardiográfica de Alta Resolución. Revista del Instituto Nacional de Higiene "Rafael Rangel”. 2012; 43 (2): 28-38.

(13) Dugarte N, Medina R, Rojas R, Dugarte E. Bioamplificador Multicanal para la Adquisición de la Señal ECGAR, del Prototipo DIGICARDIAC. Revista del Instituto Nacional de Higiene "Rafael Rangel". 2014; 45.
(14) Dugarte N, Medina R, Rojas R. Open Source Cardiology Electronic Health Record Development for DIGICARDIAC Implementation. 11th International Symposium on Medical Information Processing and Analysis (SIPAIM 2015). November 2015; Cuenca, Ecuador.
(15) Dugarte N, Medina R, Rojas R, Álvarez A. Certificación del Sistema ECGAR para su Aplicación en Centros de Salud. 4to Congreso Iberoamericano de Estudiantes de Ingeniería Eléctrica "IV CIBELEC 2010". Art. IB-01. Mayo 2010; Mérida, Venezuela.
(16) E. Costa Novella: "Ingeniería Química", Vol 3: "Flujo de Fluidos"; Ed Alhambra. Universidad, 1ª ed,1985.
(17) MPX5010 Datasheet. Freescale Semiconductor. Disponible en: https://www.datasheetspdf.com/pdf/919143/FreescaleSemiconductor/MPX5010/1
(18) Arduino UNO Datasheet. (2018). Disponible en: https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3
(19) ATmega328P Datasheet. (2018) Disponible en: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf

* * *

22

Sistema Integrado de Estetoscopio Digital y ECGAR

Antonio Álvarez Abril, Santiago Perez,

Nelson Dugarte Jerez, Adolfo Gonzalez

Resumen: El artículo presenta el desarrollo de una tarjeta de adquisición de datos (TAD) para uso biomédico. Este diseño forma parte de un sistema que permite realizar un análisis comparativo entre los sonidos cardiopulmonares (SC) y el electrocardiograma de alta definición (ECGAR). La TAD reportada digitaliza simultáneamente tres señales adquiridas. Los dos primeros canales digitalizan las señales correspondientes a las derivaciones dI y dIII del ECGAR. El tercer canal digitaliza la señal captada del SC. El instrumento consta de dos partes, una etapa de hardware para adquirir la señal y un software para la manipulación de datos en la computadora. El hardware está compuesto por un microcontrolador de alto rendimiento, una interfaz de comunicación con la computadora vía USB y los circuitos de seguridad eléctrica inherentes a un equipo médico. El software permite la adquisición de las señales transmitidas desde el hardware, su visualización gráfica y el almacenamiento de la información en una base de datos. Las pruebas de funcionamiento demostraron errores inferiores al 0,1 % en las mediciones de amplitud y no se registró perdida de información en la comunicación con la computadora.

Palabras Clave: Adquisición simultánea de señales, Estetoscopio digital, Electrocardiografía de alta resolución, Contraste entre bioseñales acústicas y eléctricas.

Las enfermedades del sistema cardiorrespiratorio son una de las principales causas de muerte en el mundo (PAHO, 2010). El uso del cigarrillo, el licor, las drogas, la desnutrición infantil, la cultura alimentaría basada en alto consumo de grasas saturadas, la marginalidad social y la carencia de políticas activas relacionadas con la prevención, agravan el cuadro de salud asociado con este tipo de enfermedades (Universidad Nacional de Educación a Distancia de España, 2000)

El diagnóstico de este tipo de afecciones se realiza empleando diversas técnicas de análisis, tales como la electrocardiografía, la auscultación de los sonidos cardiopulmonares, los estudios por Ultrasonido, Rayos X, etc. Destacando la electrocardiografía y la auscultación como los métodos más utilizados, debido a que son económicos, eficientes y no invasivos (Gaceta Médica de México, 2015)

La electrocardiografía o ECG, originalmente desarrollada por Willem Einthoven, consiste en medir las señales eléctricas que se originan como consecuencia de la contracción del corazón (Ganong, 1999). El ECG convencional, es adquirido para visualizar señales con frecuencias por debajo de 120 Hz. Normalmente digitalizada a 500 muestras por segundo (mps) con 8 bits de resolución. La definición que se obtiene es suficiente para visualizar el funcionamiento del corazón, pero está comprobado que muchos detalles pueden pasar desapercibidos al análisis del experto (Jugo, Medina, Schlegel , Arenare, 2005). Para una mayor definición se utiliza el electrocardiograma de alta resolución (ECGAR) (Jugo, Medina , Schlegel , Arenare , 2005)(Clifford, Azuaje, McSharry , 2006). El ECGAR se fundamenta en adquirir la señal cardiaca en un rango ampliado de ancho de banda y con mayor resolución que el ECG convencional.

La auscultación (Guadalajara J, 2015), es un examen físico que realiza el médico especialista, para evaluar el trabajo mecánico de órganos específicos por medio de la captación de los sonidos que se generan con su funcionamiento. Para escuchar estos sonidos el especialista utiliza un aparato conocido como estetoscopio.

El estetoscopio es un instrumento médico inventado por René Laënnec en 1816, que permite captar los sonidos corporales (Guadalajara J, 2015)(Tucci, 2005) . El instrumento se estructura en tres partes: un sensor que permite captar la señal acústica del cuerpo, un transductor que amplifica la señal captada y una etapa de salida en donde el médico escucha el sonido manipulado con una relativa ganancia en las características acústicas.

El estetoscopio original consiste en una membrana sujeta a un cono hueco que sirve como acoplamiento con el cuerpo del paciente, un tubo hueco que conduce el sonido y las terminaciones auriculares que permiten escuchar el sonido. Actualmente el sensor se hace más sofisticado con elementos altamente sensibles al sonido como micrófonos con cristal piezoeléctrico o por efecto capacitivo. En los instrumentos modernos la señal acústica se transforma en señales eléctricas y se digitaliza, con lo cual se facilita el tratamiento y manejo de la señal captada (Clifford, Azuaje, McSharry, 2006) (Webster , 1978)(Tucci, 2005). El tratamiento de la señal normalmente implica amplificación y filtrado no lineal (Webster , 1978)(Tucci, 2005). Para escuchar el sonido se utilizan auriculares de alta calidad.

La detección de las patologías cardiopulmonares es objeto de investigación en todo el mundo. Se encuentra amplia documentación sobre el desarrollo de una gran variedad de electrocardiógrafos y estetoscopios (Guadalajara, 2015) (Webster , 1978)(Tucci, 2005) (Bahill,1981). Algunas investigaciones están orientadas al desarrollo de instrumentos más sensibles o más eficientes, en otros casos se pretende un mejor filtrado de las señales que no son de interés médico (Carrasco, 2014) (Meneses, 2005) (Santafé, Gamboa, Gamboa, Velazco, 2012) (Paz-Viera ,2012). Entre otras cosas se realizan investigaciones sobre cómo aplicar análisis de señales en las adquisiciones de sonidos cardiopulmonares (Clifford, Azuaje, McSharry, 2006) (Morris, 2001), o en la electrocardiografía digital (Dugarte, Alvarez, Dugarte, 2015) (Schlegel, Kulecz, DePalma , Feiveson, Wilson, Rahman, Bungo , 2004) (Lanjewar, Pathak , Lokhandwala ,2004). Pero es notable la poca información que se encuentra disponible sobre los parámetros que correlacionan la electrocardiografía con la acústica que se genera a partir del trabajo mecánico de los tejidos.

Recientemente, en los laboratorios del Instituto Regional de Bioingeniería (IRB) de la Facultad Regional Mendoza de la UTN en conjunto con la Facultad de la Rioja de la UTN y con apoyo del Grupo de Ingeniería Biomédica (GIBULA) de la

Universidad de Los Andes, se trabaja en el desarrollo de un instrumento que integra la auscultación sónica digital con la electrocardiografía de alta resolución, bajo el nombre de proyecto SEDAR (Sonido y Electrocardiografía Digital de Alta Resolución). Este proyecto tiene el propósito de integrar el análisis simultáneo del sonido cardiorrespiratorio con la electrocardiografía de alta resolución, en busca de patrones para la detección temprana de patologías cardiopulmonares.

La Fig. 1, describe las partes que componen el proyecto SEDAR. Este instrumento permite la adquisición multicanal de los parámetros eléctricos y acústicos del paciente y registra las señales captadas en un software diseñado para funcionar en la computadora. Dada la envergadura del proyecto, en este artículo solo se reporta el desarrollo de una tarjeta de adquisición de datos o TAD, la cual se identifica en el diagrama como el módulo de digitalización.

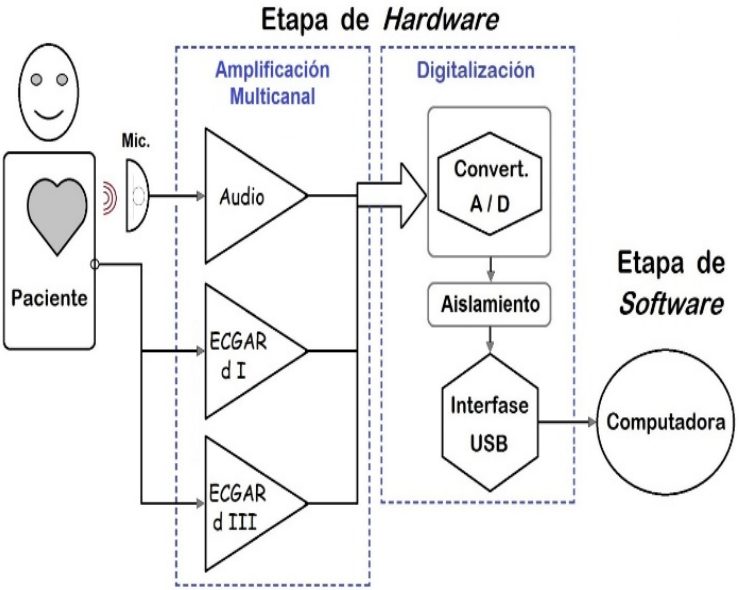


Fig. 1. Diagrama general del Instrumento SEDAR.

Metodología

Esta parte del instrumento se diseñó basado en la TAD desarrollada para el instrumento DIGICARDIAC (Dugarte, Medina, Rojas, Dugarte, 2012.) pero con los ajustes correspondientes para digitalizar las señales que se obtienen con el sistema SEDAR. La TAD consta de dos etapas, ver Fig. 2. Una etapa de hardware, con la cual se digitaliza las tres señales de entrada y una etapa de software instalada en el computador, que permite graficar y almacenar las señales adquiridas.

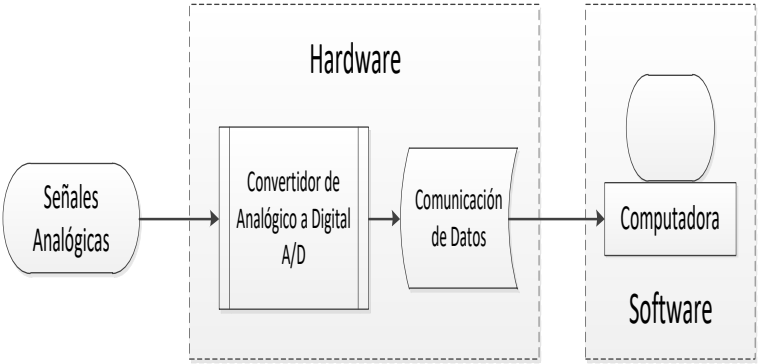


Fig. 2. Diagrama de funcionamiento de la TAD desarrollada.

El diagrama de la Fig. 3, muestra el circuito eléctrico de la TAD desarrollada. Las entradas rotuladas como I y III digitalizan las señales correspondientes a las derivaciones dI y dIII del ECGAR. La entrada rotulada como Vx digitaliza la señal captada del SC.

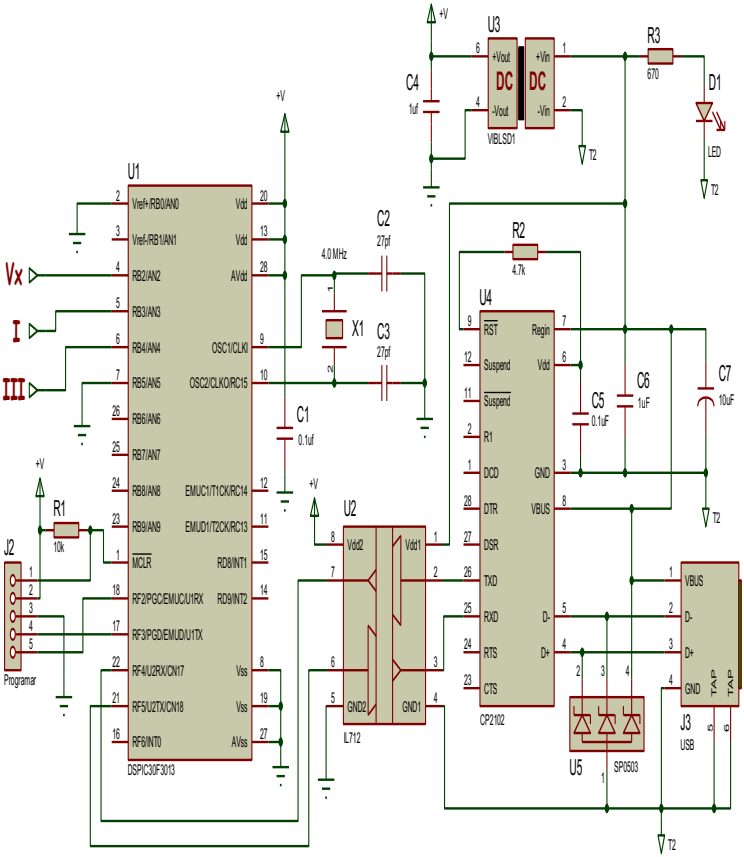


Fig. 3. TAD diseñada para digitalizar 3 señales de uso médico.

El circuito integrado dsPIC30F3013, identificado como U1 en el esquema de la Fig. 3, es un microcontrolador de alto rendimiento con prestaciones para adquisición y procesamiento de señales (Microchip Technology Inc., 2005). Puede funcionar a frecuencias de reloj de hasta 120 MHz a partir de una referencia externa con un cristal de cuarzo de 4,00 MHz. Posee un módulo convertidor analógico a digital

(CAD) con definición de 12 bit y velocidad de adquisición hasta 200 kilo muestras por segundo (mps).

Secuencia de funcionamiento

El microcontrolador funciona siguiendo los pasos dictados en el listado de instrucciones del programa o *Firmware*, almacenado en su memoria permanente. Este programa no depende del computador y se ejecuta automáticamente desde que el *hardware* se conecta al puerto USB. El diagrama de la Fig. 4, presenta la secuencia de la rutina principal.

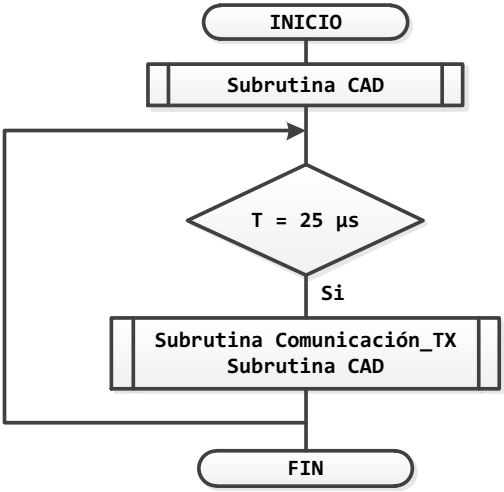


Fig. 4. Secuencia de la rutina principal.

Al iniciar el programa se llama a la subrutina del CAD, para obtener las primeras muestras de adquisición. Seguidamente se activa el módulo temporizador para establecer una base de tiempo de 25µs. Dado que el temporizador funciona en un lazo cíclico, se reinicia automáticamente cada vez que completa un periodo. El CAD se utiliza solo cuando se completa un periodo de tiempo, con lo cual se puede obtener un muestreo de 40 kmps.

La subrutina Comunicación_TX permite la transmisión serial de los valores obtenidos con el muestreo anterior. Con cada

ciclo de la base de tiempo se pueden transmitir los datos obtenidos mientras se realiza un nuevo proceso de conversión. Esto es posible porque la transmisión serial y el CAD funcionan como módulos independientes.

Proceso de digitalización

El proceso de digitalización depende exclusivamente de la Subrutina CAD. El diagrama de la Fig. 5, señala la secuencia de operaciones que se realizan.

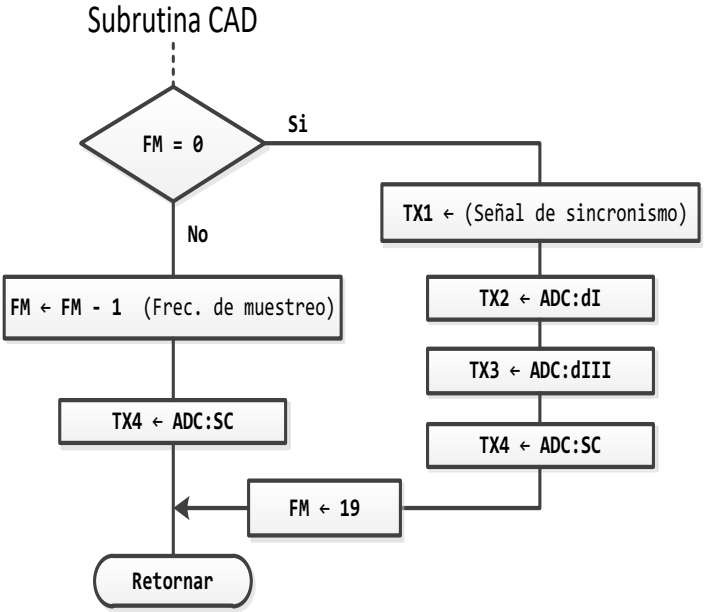


Fig. 5. Secuencia de operaciones de la subrutina CAD.

En primer lugar, se verifica el valor de la variable “FM”. Esta variable sirve como contador para la frecuencia de muestreo. Si FM es diferente de 0, solo se muestrea el canal del SC. Si FM = 0, se procede a cargar el valor 65535 (FFFF en Hex) en la variable “TX1”. Esta variable funciona como sincronismo en la transmisión de datos. Dado que el número 65535 nunca se

alcanza con los 12 bits del CAD, la transmisión de TX1 indica al software instalado en el computador que seguidamente se envían los datos dI y dIII del ECGAR junto con el dato del SC.

Seguidamente se carga la variable FM con el número 19. Esto se realiza con el propósito de transmitir 20 muestras del sonido cardiovascular por cada muestreo del ECGAR. Lo cual permite que la frecuencia de muestreo del SC sea de 40 kmps y del ECGAR sea de 2 kmps. Estas frecuencias de muestreo se deben a que el ancho de banda del SC llaga hasta 20 kHz mientras que el rango de frecuencia de utilidad médica en el ECGAR solo llega hasta 300 Hz.

La resolución expresa el valor mínimo de amplitud que se puede captar en la adquisición. La resolución se obtiene por la relación de amplitud de la señal de entrada entre la definición del CAD, ecuación 1.

$$Resolución = \frac{Amplitud\ de\ la\ señal}{Definición\ del\ CAD} \quad (1)$$

La TAD se diseñó para digitalizar señales de entrada que sean continuas en el tiempo, con rango de amplitud que puede oscilar entre 0 y 5 V, y dado que el CAD digitaliza la señal a 12 bits, se tiene una definición de 4096 (convertido a decimal: [12 bits]b = [4096]d). De tal manera, el valor de la resolución se presenta en la solución expresada en la ecuación 2.

$$Resolución = \frac{5}{4096} = 1{,}22mV \quad (2)$$

Cabe destacar que la señal captada del paciente es amplificada 1000 veces en la etapa anterior a la TAD, por consiguiente, la resolución real es de 1,22 micro-Volts (μV). Este nivel de resolución permite realizar análisis de señales para detectar componentes de valores muy pequeños.

Seguridad eléctrica

Los equipos médicos deben ofrecer a pacientes, usuarios y otras personas, un elevado nivel de protección y confiabilidad (Norma Internacional ISO. Sistemas de gestión de la calidad; 2005) (Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2009). El circuito integrado IL712, identificado como U2 en el esquema de la Fig. 3, es un dispositivo de aislamiento de señales digitales de doble canal, certificado por la empresa que los fabrica hasta 30 kilo volts (kV). Este circuito permite la comunicación de datos entre el microcontrolador y el driver de USB sin riesgo de corrientes de fuga por esta vía.

Todos los circuitos del hardware se alimentan de la fuente USB, para esto se utilizó el dispositivo VIBLSD1. Este componente, identificado en el esquema de la Fig. 3 como U3, es un circuito integrado que funciona como una fuente con aislamiento Galvánico de alta seguridad. Este circuito elimina todo contacto físico con las líneas de +5V y GND del cable de USB, con lo cual se elimina la posibilidad de corrientes de retorno por la línea de tierra o la posibilidad de choque eléctrico ante pulsos de tensiones elevadas por la línea de fuente.

Adicionalmente se utilizó el dispositivo SP0503, identificado en el esquema de la Fig. 3 como U5. Este componente es un supresor de potenciales transientes y picos de alto voltaje, que pudieran ser causados por descargas electrostáticas o fallas en los circuitos de la computadora donde se conecta las líneas de USB. Este circuito funciona como primera barrera de protección, que asegura la compatibilidad electromagnética de la TAD y previene cualquier posible daño causado por diferencias de potencial externo (ST Microelectronics, 2011).

Resultados

Los circuitos desarrollados conforman una tarjeta de adquisición de datos especializada, para ser utilizada tanto en electrocardiografía como en fonoaudiología digital. Las pruebas de certificación comprobaron que este instrumento cumple las normas de funcionamiento y seguridad eléctrica aplicada a equipos médicos (Norma Internacional ISO. Sistemas de gestión de la calidad, 2005) (Instituto Argentino

de Normalización y Certificación, 2009) (ST Microelectronics, 2011.). La Fig. 6, presenta la TAD desarrollada.

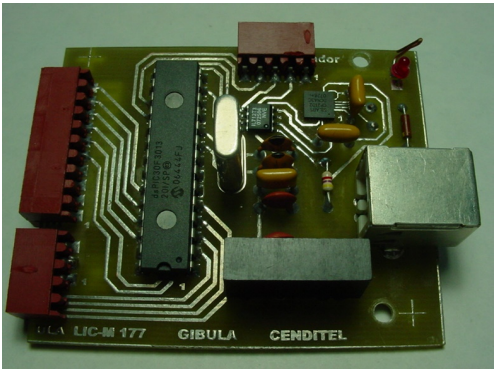


Fig. 6. TAD desarrollada para instrumentación médica.

La evaluación del producto fue certificada en el Instituto Regional de Bioingeniería (IRB) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Las pruebas se realizaron analizando 100 registros adquiridos de un generador de funciones marca Hewlett Packard, modelo HP33120A, certificado como instrumento patrón. El método implementado fue idéntico al realizado para certificación de los productos del instrumento DIGICARDIAC (Dugarte N., Medina R., Rojas R., Dugarte E. 2012.) (Dugarte, Medina, Rojas, Álvarez, 2010.). La Fig. 7, muestra la gráfica de uno de los registros adquiridos.

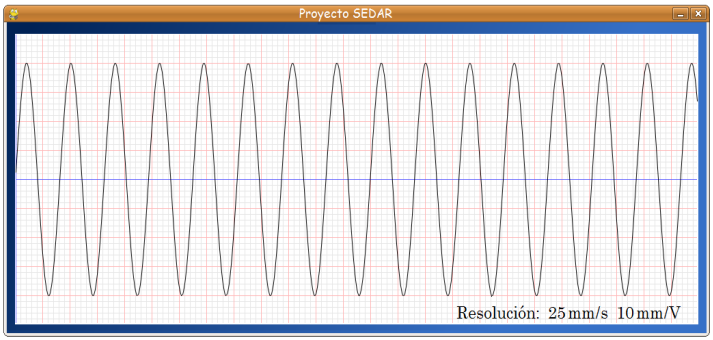


Fig. 7. Gráfica de un registro adquirido a 3Hz y 4Vpp.

En las pruebas de comunicación con la computadora se compararon la cantidad de datos adquiridos con el número de datos transmitidos desde el hardware. En los resultados no se detectaron errores por perdida de información.

El error en la medición de amplitud se calculó promediando los valores obtenidos en las adquisiciones y comparándolo con el valor referencial ofrecido por el equipo patrón. Los resultados mostraron un error porcentual promedio de 0,0951% con una desviación estándar de 0,0073.

Las mediciones de seguridad eléctrica mostraron corrientes de fuga inferiores a 5 μA, cuando el Máximo permitido según la norma es de 500 μA. Las mediciones de aislamiento presentaron un valor de resistencia infinita entre las líneas eléctricas que conectan a la fuente del computador y cualquiera de los cables del paciente que se conectan con el instrumento.

Conclusiones

La medición de los patrones contenidos en las señales captadas de los latidos cardiacos representa una forma específica de evaluar el funcionamiento del corazón. Así mismo el análisis en detalle de la señal acústica cardiorrespiratoria representa la valoración del trabajo cardiaco y pulmonar. Pero un análisis de las características ECGAR en conjunto con el SC, pueden representar una forma más detallada y completa para detectar patrones indicativos de enfermedades cardiorrespiratorias, en especial en su fase inicial.

El desarrollo de la TAD especializada en señales con múltiples parámetros de interés médico, hace posible que desarrollos como el proyecto SEDAR se puedan realizar. Pero también representa un producto que se puede implementar con otros instrumentos, como tensiómetros, termómetros, etc.

Todas las mediciones certifican que la TAD cumple con la normativa establecida de funcionamiento y seguridad eléctrica con amplio margen de confiabilidad.

Referencias

Pan American Health Organization (PAHO). (2010). "Principales causas de muerte". Disponible en: http://www.paho.org/data/index.php/es/mnu-mortalidad/ principales-causas-de-muerte.html. Consultado en fecha: Julio 2017.

Universidad Nacional de Educación a Distancia de España. (2000). "Enfermedades cardiovasculares, prevención y tratamiento a través de la alimentación". En: http://www.uned.es/pea-nutricion-y-dietetica-I/guia/cardiovascular/index.htm. Consulta Mayo 2017

Guadalajara J, (2015). "La auscultación del corazón, un arte en vías de extinción".; Gaceta Médica de Mexico 151: 260-5.

Ganong W. (1999). Fisiología Médica. Manual Moderno. 17 ed. México, D.F.: McGraw-Hill;.

Jugo D, Medina R, Schlegel T, Arenare B. (2005) "Aplicación de nuevas técnicas de electrocardiografía de alta resolución en pacientes chagásicos". Bogotá: II Congreso Colombiano de Ingeniería Biomédica. 2005. Artículo No. 93.

Clifford G., Azuaje F., McSharry P. (2006), "Advanced Methods and Tools for ECG Data Analysis", Artech house inc., Londres, 2006.

Tucci A. (2005), Instrumentación biomédica. Venezuela: Universidad de los Andes

Webster J. Medical Instrumentation Application and design. (1978); USA: Houghton Mifflin Company;.

Bahill T. (1981); Bioengineering Biomedical, Medical and Clinical Engineering. New Jersey: Prentice–Hall;.

Carrasco CF. (2014); Diseño y construcción de un estetoscopio electrónico de bajo costo con filtrado de frecuencias para la detección de afecciones pulmonares y cardiacas. (Tesis) México D.F.: Lugar de edición Univ. Nacional Autónoma de México;.

Meneses A. (2005) .Diseño y construcción de un estetoscopio basado en un PC. Colombia: Universidad Manuela Beltran.

Santafé Y., Gamboa W., Gamboa Y., Velazco O. (2012). Diseño y construcción de un estetoscopio digital inalámbrico. Disponible

en: https://www.researchgate.net/publication/290100169_Diseno_y_construccion_de_un_estetoscopio_digital_inalambrico. Consultado en fecha: Abril de 2014.

Paz-Viera J. (2012). Estetoscopio digital con PSoC. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/236159729_ESTETOSCOPIO_DIGITAL_CON_PSoC. Consulta en fecha: Junio de 2014.

Morris A. (2001); Measurement and Instrumentation Principles. 3 edition. Great Britain: Butterworth-Heinemann.

Dugarte N., Alvarez A., Dugarte E., Alvarez G. (2015) Técnicas de Procesamiento de la Señal ECGAR Aplicadas en el Prototipo DIGICARDIAC. Revista del INHRR.; 47(2).

Schlegel T., Kulecz W., DePalma J., Feiveson A., Wilson J., Rahman M., Bungo M. (2004); Real-Time 12-Lead High-Frequency QRS Electrocardiography for Enhanced Detection of Myocardial Ischemia and Coronary Artery Disease. USA. Mayo Clin. Proc.; 79: 339 – 350.

Lanjewar P., Pathak V., Lokhandwala Y (2004). Issues in QT interval measurement. Indian Pacing and Electrophysiology Journal. ; 4 (1): 156-161.

Dugarte N., Medina R., Rojas R., Dugarte E. (2012). Desarrollo del Prototipo de un Sistema de Adquisición de Datos para la Digitalización de la Señal Electrocardiográfica de Alta Resolución. Revista del INHRR. ; 43 (2): 28-38.

Microchip Technology Inc. (2005) Getting Started with dsPIC30F Digital Signal Controllers User's Guide . USA: Microchip Technology Inc.;.

Norma Internacional ISO. Sistemas de gestión de la calidad (2005) – Requisitos de seguridad en equipos médicos. Impreso en la Secretaría Central de ISO en Ginebra, Suiza, Número de referencia ISO 13485:2005, Acápite 3.7.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2009). Normas IRAM 4220-2-27 e IRAM 4220-2-25. Disponible en: www.iram.com.ar. Consultado en fecha: Noviembre 2009.

ST Microelectronics (2011). IEC 61000-4-2 standard testing. USA: STMicroelectronics group of companies; 2011.

Dugarte N., Medina R., Rojas R., Álvarez A. (2010). Certificación del Sistema ECGAR para su Aplicación en Centros de Salud. Venezuela: 4to Congreso Iberoamericano de Estudiantes de Ingeniería Eléctrica "IV CIBELEC". (2010); Art. IB-01.

* * *

23

Diseño de Sistema de Control para Equipos Médicos Implementados en Personas con Movilidad Reducida

Antonio Álvarez Abril, Santiago Perez,

Nelson Dugarte Jerez, Adolfo Gonzalez

Resumen: Este artículo trata sobre el desarrollo de una técnica de control aplicable a mandos electrónicos para instrumentos mecanizados de uso médico para personas con movilidad parcialmente reducida. El desarrollo se basa en una estructura de algoritmo que presenta respuestas novedosas como resultado del control y que vienen a facilitar el modo de empleo del mando. El instrumento desarrollado consta de una parte de hardware y otra parte de software. El hardware del prototipo se elaboró implementando plataforma Arduino y un circuito electrónico diseñado para comandar el sistema de un joystick tipo gamer que permite el manejo del instrumento con pequeños movimientos y mínimo esfuerzo por parte del paciente. El algoritmo principal del software permite el control de dos motores eléctricos de corriente continua (DC) normalmente implementados en el mecanismo de tracción de vehículos para pacientes con movilidad reducida. La novedad del sistema consiste en el desarrollo de tecnología propia donde se incorporan mejoras como el cambio angular pronunciado, que permite al usuario comandar el aparato en espacios reducidos, típicos de los ambientes domésticos comunes. Las pruebas preliminares demostraron la eficiencia del sistema. El instrumento se encuentra actualmente en proceso de prueba y certificación en los laboratorios del Instituto Regional de Bioingeniería de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza.

Palabras Clave: Mando Electrónico, Software de Control, Diseño de Equipo Médico, Sillas de Ruedas Eléctricas.

Introducción

Las sillas de ruedas, plantean una solución parcial a la discapacidad por deficiencia en las extremidades inferiores. El

objeto de estos aparatos es permitir que el usuario se pueda desplazar con ayuda de sus extremidades superiores o con la intervención de un asistente (Dugarte, 2016).

Cuando una persona con movilidad reducida dispone de un equipo que lo pueda trasladar de manera independiente, mejora notablemente su calidad de vida, facilitando la igualdad de acceso para elegir y tomar decisiones, acceder a todo tipo de información, participar en el proceso de la educación, el empleo, el ocio y la vida familiar (Pousada y Pereira, 2012; Valle, 2013).

El primer diseño de silla de ruedas, con características similares a las modernas, se realizó para el rey Felipe II de España en el año 1595. Esta silla permitía que el usuario se pudiese mover, de forma asistida por un ayudante, y entre sus cualidades especiales destacaban el reposapiés y respaldar ajustable (Lederman et all, 2015). Hacia el año 1665, Stephen Farfler, un joven relojero alemán de solo 22 años construyó el primer vehículo autopropulsable para su propio uso (Baez Martinez, 2000).

En 1783, surge la silla “Bath”, la cual domina el mercado hasta el siglo XIX. Según Baez Martinez, en 1869 se patenta un modelo con las características modernas de ruedas traseras propulsables por el mismo usuario y ruedas delanteras de tamaño reducido. En los años siguientes se añadieron los aros de propulsión y ruedas de goma. En 1900 se introdujeron las ruedas radiadas en las sillas manuales y finalmente en 1916 se fabricó en Londres la primera silla de ruedas propulsada por medio de motores.

Baez Martinez plantea que las primeras sillas motorizadas seguían teniendo la característica de ser manuales, pero adaptadas con diversos sistemas de engranajes poco eficientes y difíciles de manipular. Posteriormente se adoptaron los motores de DC y sistemas de control más precisos y eficientes. Pero no fue hasta el año 1924 que se desarrolló el primer modelo impulsado eléctricamente.

Las últimas décadas han supuesto un enorme avance, tanto para las sillas manuales como para las eléctricas. La introducción de nuevos materiales y nuevas tecnologías en la producción ha permitido mejorar el rendimiento y sobretodo la posibilidad de personalizar las sillas de acuerdo a las necesidades individuales de cada persona. De la misma manera se mejoran los diseños del conjunto motor al desarrollarse motores DC más eficientes, con etapas de potencia con mejor aprovechamiento de la energía, e integrados a baterías con mayor autonomía, menor volumen y por ende menor peso.

Con el pasar de los años mejoraron las técnicas para controles electrónicos. La implementación de componentes como el MOSFET y el IGBT hicieron más eficiente la etapa de potencia (Barkhordarian, 2014; Sattar, 2008; Balogh, 2017). El diseño con microcontroladores (UPC, 2006) permitió sofisticar la utilidad de los mandos en el manejo de motores DC. La utilización de estas tecnologías permite diseñar mandos de control que mejoran notablemente el movimiento de la silla de ruedas en todas las direcciones.

Desde el año 2013, en los laboratorios del Instituto Regional de Bioingeniería (IRB) del Centro Regional de Computación y Neurociencia (CeReCoN) de la Universidad Tecnológica Nacional – Regional Mendoza (UTN - FRM) (IRB-CeReCoN, 2018), se estudian las características de los controles modernos y se han determinado algunas mejoras importantes que pueden ser incorporadas en el sistema para hacerlo más eficiente. Uno de los problemas detectados está determinado por la relación de control en el efecto de viraje, lo cual hace que las sillas eléctricas sean difíciles de maniobrar en espacios reducidos. Adicionalmente, el desarrollo de un dispositivo de control de este tipo, con tecnología propia, establece un marco tecnológico que asegura el producto a nivel local y garantiza el mantenimiento bajo normas.

En el presente artículo se detalla la metodología implementada en el desarrollo de un sistema de mando que se puede utilizar en cualquier tipo de mecanismo

autopropulsado que utilice motores DC, que se encuentren dentro de los parámetros característicos de los requeridos para sillas de ruedas eléctricas.

Metodología

El diseño del sistema integra una etapa de hardware y una de software. El hardware está compuesto por una etapa de control y los circuitos de potencia. La etapa de software, permite el manejo de la potencia de los motores como respuesta a las acciones que se realicen sobre la palanca que comanda la etapa de control. Los algoritmos del software se diseñaron en el lenguaje de programación de la plataforma Arduino (Parlante, 2003).

Etapa de hardware

La etapa de hardware está constituida por una plataforma programable tipo Arduino UNO, un control tipo joystick *gamer* "*thumb control*" y los circuitos de la etapa de potencia. La Fig. 1, presenta la estructura esquematizada del diseño del hardware.

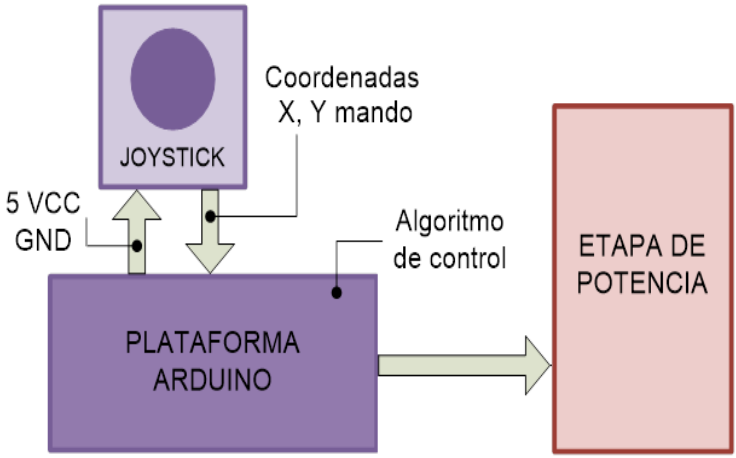


Fig. 1. Diseño del sistema de control.

El circuito de entrada

Corresponde a un mando tipo Joystick miniatura, ver Fig. 2, por medio del cual el usuario controla el aparato como respuesta a las instrucciones de posicionamiento de la palanca.

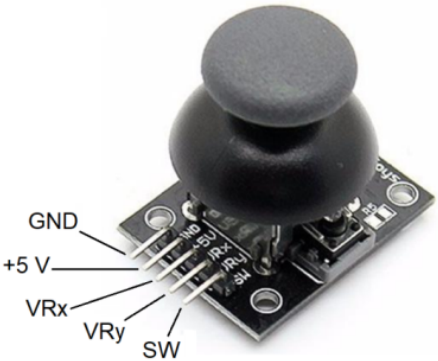


Fig. 2. Módulo Joystick miniatura utilizado en el diseño.

El módulo Joystick utilizado, está compuesto por dos potenciómetros, accionados mecánicamente por los movimientos de la palanca. Cada potenciómetro responde al movimiento de la palanca con una diferencia específica de 90º sobre el plano. Por consiguiente, el movimiento de la palanca en cualquier dirección ajusta la posición de uno o ambos potenciómetros. El valor de la resistencia eléctrica de los potenciómetros determina con precisión el sentido señalado por la acción sobre el mando.

Cada potenciómetro del Joystick se conecta como divisor de tensión, con lo cual, el voltaje de salida señala el sentido y el nivel de esfuerzo que se desea en los motores de tracción del vehículo. La Fig. 3, muestra el modelo simplificado de la conexión eléctrica del Joystick en el circuito de entrada.

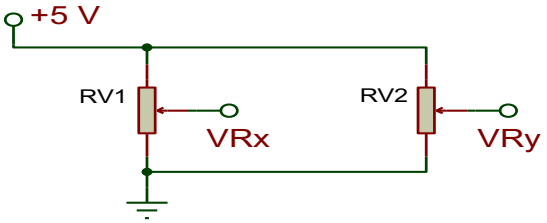


Fig. 3. Modelo simplificado del módulo joystick.

Etapa de control

Para esta etapa se utilizó la tarjeta programable Arduino UNO (Arduino, 2018). Este dispositivo consta de un Microcontrolador ATmega328 y los circuitos periféricos que le permiten funcionar como una plataforma digital independiente. Se alimenta con 12 Volts (V), los cuales se obtienen de la energía de una de las baterías que se utilizan en aparatos de este tipo. Las entradas analógicas A0 y A1 se conectan a VRx y VRy del circuito de entrada. Los 5 V de alimentación del circuito de entrada los suministra la plataforma Arduino. Los pines digitales 7, 8, 9, 10 y 12 están configurados como salidas y se utilizan para el manejo del circuito de potencia.

Los pines digitales 9 y 10 de la plataforma Arduino se utilizan como salidas de pulsos con ancho variable “Pulse Width Modulation” (PWM) (Hirzel, 2018; Shirriff y Badger, 2018). Estas salidas se utilizan para controlar los circuitos de la etapa de potencia, por medio de cambios en el ciclo de trabajo del tren de pulsos.

Etapa de potencia

El desplazamiento de la silla de ruedas depende del trabajo mecánico realizado por dos motores de corriente continua (DC). Estos motores, son máquinas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica, mediante movimientos rotatorios que son generados por un campo magnético (Pernía, 2011).

Cada motor genera el esfuerzo mecánico que impulsa la silla de uno de los lados en particular. De tal forma, el esfuerzo

simultáneo de ambos motores impulsa la silla en línea recta. Si solo se mueve el motor derecho la silla gira hacia la izquierda y si solo se mueve el motor izquierdo, la silla gira hacia la derecha. El movimiento combinado de ambos motores permite realizar cambios de dirección en cualquier ángulo.

La etapa de potencia está conformada por los circuitos que permiten controlar la energía que consume cada motor. La potencia de los motores se controla por medio de la interrupción de la corriente en intervalos de tiempo condicionados por el ancho del pulso PWM (Muñoz-Galeano et all, 2016). Para controlar el sentido de giro y la potencia de cada motor se utilizaron dos circuitos eléctricos idénticos, como el señalado en la Fig. 4.

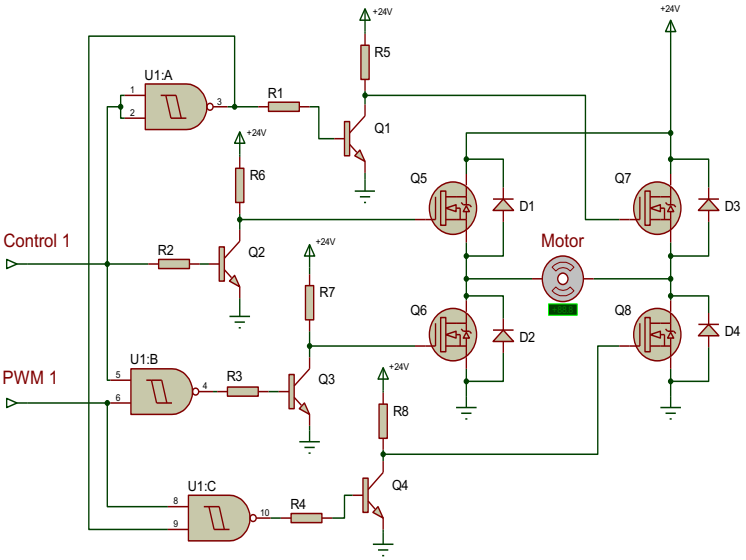


Fig. 4. Diseño esquemático de la etapa de potencia.

Este circuito implementa una configuración en puente H con 4 Mosfet de potencia (Ros Fernández y Villarejo Mañas, 2015). Los Mosfet funcionan como 4 interruptores electrónicos

distribuidos en 2 ramas. Un nivel lógico 1 en la señal de entrada identificada como Control 1, activa al transistor Q7 y habilita la entrada de PWM 1 para encender Q6, permitiendo que el motor gire en el sentido que proporciona movimiento de avance a la silla. De la misma forma, Un nivel lógico 0 en Control 1, activa a Q5 y habilita la entrada de PWM para encender Q8, permitiendo que el motor gire en sentido inverso, proporcionando un esfuerzo de retroceso a la silla.

Etapa de software

El algoritmo implementado se desarrolló en lenguaje de programación de propósito general, asociado al sistema operativo UNIX. El diseño del software se realizó a partir del análisis de los movimientos que se pueden realizar con la palanca del Joystick. Si no recibe ningún esfuerzo, los potenciómetros toman por defecto el valor medio de la resistencia eléctrica, con lo cual los divisores de tensión proporcionan valores de 2,5 V en VRx y VRy, con respecto a GND. Tomando en cuenta los 10 bits de precisión en la conversión Analógica Digital A/D, se toma el valor de 512 (equivalente a 2,5 V) como valor de referencia o nivel de apagado de los motores.

La Tabla 1, señala las condiciones preestablecidas para detener o activar los motores en uno u otro sentido de giro. Los valores mostrados en la columna central corresponden a la conversión de amplitud registrada en el posicionamiento del Joystick, de acuerdo a la expresión de cálculo binario 2n. De esta forma, el sentido de giro de los motores y por ende el desplazamiento de la silla de ruedas estará condicionado por los valores digitales superiores o inferiores a 512.

Joystick	Conv. A/D	Sentido de Giro
Entre 2,6 y 5 V	Entre 514 y 1024	Avance
2,5 V	512	Detenidos
Entre 2,4 y 0 V	Entre 510 y 0	Reversa

Tabla 1. Conversión A/D.

En la Fig. 5, se aprecian algunas de las múltiples posiciones que puede tomar el posicionamiento de la palanca del Joystick. El vector identificado como “M” corresponde a la intensidad del desplazamiento, señalado por el usuario, por medio de la palanca sobre el plano de coordenadas X e Y. Los diferentes valores que puede tomar el vector M se definen por el módulo y la dirección que toma la palanca al moverse.

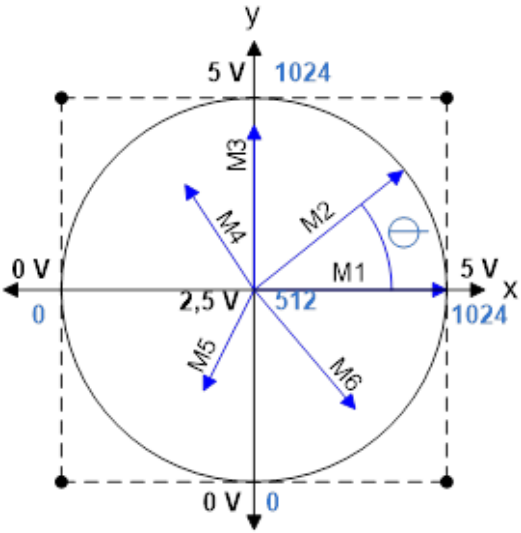


Fig. 5. Eje de coordenadas del módulo joystick.

El módulo determina la potencia en los motores. La ecuación 1, permite calcular el valor del módulo a partir de las variaciones de voltaje en el eje x (ΔVx) y las variaciones de voltaje en el eje y (ΔVy). Las ecuaciones 2 y 3 definen ΔVx y ΔVy a partir de los valores VRx y VRy obtenidos en el circuito de entrada.

$$M = \qquad (1)$$

$$\Delta V \qquad (2)$$

$$\Delta V \qquad (3)$$

La dirección del vector M establece el sentido de giro y la proporción de potencia que se distribuye entre ambos motores. El ángulo α se puede calcular con la implementación de la ecuación 4.

$$\alpha = arctg \frac{\Delta Vy}{\Delta Vx} \quad (4)$$

Secuencia del algoritmo de control

El primer paso en el algoritmo es declarar las variables que se requieren. Seguidamente, se configuran los puertos como entradas o salidas, y se configura el PWM. En esta etapa, se asigna una frecuencia de 19 KHz como base de oscilación del PWM, para que los motores trabajen de manera eficiente y sin generar ruidos audibles.

Seguidamente se realiza la lectura de las entradas VRx y VRy del Joystick. Si estos valores de entrada identifican en centrado, se considera que no hay acción sobre la palanca del mando y por consiguiente se apagan las señales PWM. Si por el contrario se detecta algún valor diferente a 2,5 V en VRx o VRy, se procede al cálculo del ángulo del vector para identificar el sentido del desplazamiento de la palanca del mando. De acuerdo con el valor obtenido se fijan los valores lógicos de Control 1 y Control 2 para designar los sentidos de giro de los motores.

El siguiente bloque del algoritmo contiene las instrucciones que permiten generar las señales PWM que controlan la etapa de potencia. El ciclo de trabajo del PWM para cada motor dependerá del módulo y el ángulo del vector de posicionamiento de la palanca del mando, respondiendo en función del resultado M que se obtiene de la ecuación 1.

Resultados

Las pruebas de funcionamiento del prototipo desarrollado se realizaron en el Instituto Regional de Bioingeniería (IRB) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Los ensayos iniciales se realizaron visualizando en osciloscopio las diferentes señales PWM de salida de la plataforma Arduino en

función a distintas posiciones aleatorias impuestas en el mando thumb control. Los resultados obtenidos demostraron la generación de los pulsos PWM con los intervalos de tiempo correspondientes en cada periodo. Adicionalmente, se probaron las salidas digitales destinadas a indicar sentidos de giro en función a la ubicación del mando y la salida digital para realizar la liberación de los frenos electromecánicos de los motores.

Las pruebas preliminares del prototipo se realizaron ensamblando los circuitos de control con la etapa de potencia. La etapa de potencia se probé conectando dos motores DC en configuración derecha e izquierda. Se realizaron movimientos aleatorios del mando thumb control contrastando en todo momento la activación y el sentido de rotación correcto de los motores. La Fig. 6, muestra una vista destapada del ensamblado del prototipo construido.

Fig. 6. Ensamblado del prototipo de control.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que el algoritmo programado en la plataforma Arduino es eficiente permitiendo un control de las velocidades y sentidos de rotación de los motores, discriminando adecuadamente módulo, dirección y sentido del mando thumb control.

El prototipo obtenido se encuentra apto para continuar el desarrollo en otras aplicaciones, tales como la generación de una función que permita el inicio amortiguado del movimiento

de los motores. Esto permitiría un control más suave y amigable, en especial para personas con temblor o inestabilidad de posicionamiento en sus manos.

Cabe destacar que el desarrollo de tecnología propia asegura el mantenimiento y la calibración del instrumento desarrollado, así como la incorporación de nuevas tecnologías que surjan con el avance de las investigaciones.

Agradecimientos

Se agradece al Instituto Regional de Bioingeniería (IRB) del Centro de Computación y Neurociencia (CeReCoN) de la Universidad Tecnológica Nacional Regional Mendoza (UTN – FRM) por su colaboración en el desarrollo y certificación del producto. También se agradece al Grupo de Ingeniería Biomédica (GIBULA) de la Universidad de Los Andes en Venezuela, por el apoyo tecnológico prestado. De la misma forma, se hace extensivo el agradecimiento a todas las instituciones que han permitido que este proyecto sea factible.

Referencias

Dugarte N., Alvarez A., González A., Graciá F., Vicencio D., Balacco J. “Desarrollo de un sistema de bipedestación moderno”. Congreso de Ingeniería de Procesos y Productos. 30, 31 de Marzo y 1 de Abril de 2016. Rosario. Santa Fe. Argentina.

Pousada T., Pereira J. “Evaluación del efecto de la silla de ruedas sobre la calidad de vida de las personas con una Enfermedad Neuromuscular”. Universidade da Coruña. Febrero de 2012. A Coruña. Galicia. España.

Valle I. “Sillas de ruedas eléctricas. Opciones de mandos de control y cambios de postura”. Centro de Referencia Estatal de Autonomía Personal y Ayudas Técnicas. Septiembre de 2013. España.

Baez Martinez L. Minusval2000 *Breve historia de la silla de ruedas*. Disponible en: http://www.minusval2000.com/otros/reportajes.html. (Consultado 11 de mayo de 2018).

Lederman, C., Junjing S. “Electric Folding Wheelchair Standard KD Smart Chair Electric Wheelchair”. NYU Steinhardt. 2015. New York. USA.

Barkhordarian V. “Power MOSFET Basics”. 2014. International Rectifier, El Segundo, California. USA.

Sattar A., “Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) Basics”. 2008. IXYS Corporation. California. USA.

Balogh L. “Fundamentals of MOSFET and IGBT Gate Driver Circuits”. Texas Instruments. 2017. Texas, USA.

Universidad Politécnica de Cartagena (UPC). “Introducción a los Microcontroladores”. Departamento de publicaciones de la Facultad de Electrónica. 2006. Cartagena, España.

Instituto Regional de Bioingeniería (*IRB*), Centro Regional de Investigación y Desarrollo en Computación y Neuroingeniería (CeReCoN). Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza, Argentina. Disponible en: http://irbutn.org/. (Consultado 10 de mayo de 2018).

Laboratorios CeReCoN. Disponible en: http://irbutn.org/laboratorios-cerecon/. (Consultado 18 de mayo de 2018).

Parlante N. “Essential C”. Stanford CS Education. 2003. Stanford California. USA.

Arduino, CL. *Arduino Uno*. Disponible en: http://arduino.cl/arduino-uno/. (Consultado 21 de mayo de 2018).

Hirzel T. *PWM*. Disponible en: https://www.arduino.cc/en/Tutorial. (Consultado 21 de mayo de 2018).

Shirriff K., Badger P. *Secrets of Arduino PWM*. Disponible en: https://www.arduino.cc/en/Tutorial. (Consultado 23 de mayo de 2018).

Pernía M. “Conceptos Básicos de Máquinas de Corriente Continua”. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Departamento de publicaciones de la Facultad de Ingeniería Electrónica. 2011. San Cristóbal, Venezuela.

Muñoz-Galeano N., Cano-Quintero J. B., López-Lezama J. M. Enseñando el Funcionamiento de los Inversores Puente H: Análisis del Intercambio de Potencia entre Bobinas y Condensadores. Formación Universitaria. 2016; 9 (1): 117-124. Medellín. Colombia.

Ros Fernández J., Villarejo Mañas J. A. “Controlador de velocidad de una máquina de continua”. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Universidad Politécnica de Cartagena. 2015. Cartagena. España.

* * *

24
Aprendizaje organizacional y proceso de decisión: Etapas de Integración

Esteban Anzoise, Cristina Scaraffia, Julio Cuenca

Resumen: Para las organizaciones sobrevivir en un contexto altamente volátil es condición base para poder crecer y ganar mercado. Desde una perspectiva Neo Darwiniana, el aceleramiento de los procesos de aprendizaje organizacional es la clave para adaptarse al contexto. Para ello, se realiza un estudio comparativo de los procesos de decisión y su relación con el grado de estructuración de los problemas a resolver, tipo de decisores y su relación con el nivel de incertidumbre. Como principales resultados, se correlaciona el tipo de decisión en relación con la complejidad del problema y el nivel de incertidumbre, así como las fases del proceso de decisión con la metodología para la resolución de problemas. Como principal conclusión se establece la relación entre los procesos de aprendizajes del Modelo Extendido de Aprendizaje Organizacional y las fases del proceso de decisión. Esto permitiría establecer acciones de mejora y consolidación del aprendizaje organizacional. También se halla que el registro de las decisiones requiere la implementación de Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión para sostener el aprendizaje organizacional en forma sistemática. Finalmente, surge el requerimiento del uso de modelos orientados a distintos tipos de análisis para resolver el creciente número de problemas no estructurados.

Palabras claves: aprendizaje organizacional, incertidumbre, modelos de decisión, herramientas de apoyo al proceso de decisión.

Introducción

Las organizaciones operan en un contexto altamente cambiante, interconectado y complejo que dificulta no solo la generación de escenarios sino el proceso de decisión en sí mismo (George, 2016; Reeves, Love, & Tillmanns, 2012). Diversos estudios longitudinales que abarcan el período 1950 – 2009, de firmas que cotizan en la Bolsa de EEUU, muestran

que no solo la tasa de mortalidad se incrementa sino que el proceso de mortalidad se está acelerando (Daepp, Hamilton, West, & Bettencourt, 2015; Govindarajan & Srivastava, 2016; Reeves, Levin, & Ueda, 2016).

Los administradores buscan mejorar sus procesos de decisión para contribuir a mejorar los resultados organizacionales y alcanzar los objetivos establecidos. Decidir no es la tarea más demandante en términos de horas del personal en cargos directivos de una organización pero sin embargo es la más importante (Drucker, 2007) ya que la realización de decisiones correctas en un ambiente complejo conduce al éxito y la supervivencia de la organización en el largo plazo (Drucker, 2007; Grünig & Kühn, 2013; Probst & Bassi, 2014).

Desde sus inicios en los 60s, la aplicación de la perspectiva del Nuevo Darwinismo en el campo del desarrollo organizacional y la economía de las organizaciones (Nicholson & White, 2006), no solo ha permitido entender la naturaleza y el rol de las rutinas organizacionales, el impacto de las elecciones estratégicas, el crecimiento de la complejidad organizacional en la supervivencia y desarrollo de las organizaciones en un contexto de complejidad creciente (Hannan & Freeman, 1984) sino que también ha permitido construir un puente en la aparente divergencia de las perspectivas en estrategia de negocios y ecología organizacional (Dollimore, 2006; Hodgson, 2013). La adaptación a un contexto cambiante, así como la preservación y mejoramiento de dicho proceso de adaptación demanda un proceso de aprendizaje a nivel organizacional. Una organización que aprende a actuar de manera eficiente, se adapta fácilmente al cambio, detecta y corrige los errores y mejora continuamente sus procesos de decisión y el logro de sus objetivos (Argyris & Schön, 1995; Silins, Zarins, & Mulford, 2002).

El aprendizaje organizacional (AO) es un campo de investigación académica y práctica profesional con un desarrollo relativamente reciente concentrado en el análisis de los procesos relacionados con el aprendizaje individual y colectivo en las organizaciones (Tsang, 1997). El concepto de aprendizaje

organizacional es presentado por Cyart y March (1963) como parte del modelo desarrollado del proceso de decisión en las organizaciones cuando afirman que las compañías aprenden de la experiencia con la intención de adaptarse a las condiciones del medio ambiente (Cyert & March, 1963). El desarrollo del área de aprendizaje organizacional abarca diversos aspectos tales como a) la estructura y tipos de aprendizaje organizacional (Argote, 2013; Castaneda & Rios, 2007; Hedberg, 1981); b) impacto en decisiones estratégicas (Shrivastava & Mitroff, 1982); c) decisiones en contextos inciertos y cambiantes (Duncan & Weiss, 1979; Fiol & Lyles, 1985; March & Olsen, 1975); y d) las curvas de aprendizaje en las organizaciones (Argote, 2013; Dutton & Thomas, 1984). Desde diversas perspectivas existe una convergencia en considerar que "el aprendizaje organizacional es el conjunto de actividades y procesos por los cuales una organización eventualmente alcanza el ideal de una organización que aprende" (Caldwell, 2012; Chatterjee, 2011; Finger & Brand, 1999, p. 136; Senge et al., 2000). Los diversos modelos coinciden en identificar como etapas del aprendizaje organizacional (1) el aprendizaje de la experiencia pasada, (2) la adquisición de conocimiento, (3) el procesamiento en un nivel organizacional diferente, (4) identificar y corregir los problemas, y (5) el cambio a nivel organizacional.

Este trabajo propone la integración del proceso de decisión a nivel de individuo, grupo y organización en la cultura organizacional a través del Modelo Extendido de Aprendizaje Organizacional.

El proceso de decisión en el Aprendizaje Organizacional

Zietsma, et al. (2002) desarrollan el Modelo Extendido de Aprendizaje Organizacional (Zietsma, Winn, Branzei, & Vertinsky, 2002) como una mejora al modelo basado en la Teoría de Aprendizaje Multinivel (Crossan, Lane, & White, 1999) como se muestra en la figura 1. Este Modelo Extendido de Aprendizaje Organizacional se ha aplicado a diferentes tipos de organizaciones, incluso las de educación superior

(Anzoise, Scaraffia, & Curadelli, 2016; Castaneda & Rios, 2007).

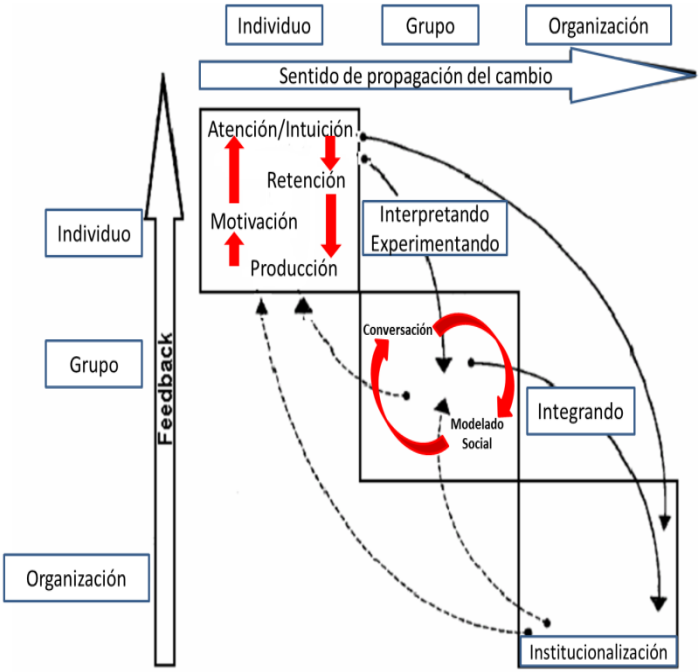


***Figura 1**: Modelo Extendido de Aprendizaje Organizacional*

Fuente: Adaptado de Zietsma, C., Winn, M., Branzei, O., & Vertinsky, I. (2002). The war of the woods: Facilitators and impediments of organizational learning processes. British Journal of Management, 13 (Special Issue 2), 61-74.

Este modelo identifica tres niveles de aprendizaje: 1) individuo; 2) grupo; y 3) la organización y sus diferentes rutas de integración que van desde el individuo a la organización y de la organización al individuo ya que el aprendizaje individual aislado no garantiza el aprendizaje organizacional al ser necesario un proceso de transferencia entre todos los integrantes de la organización para institucionalizar el

conocimiento generado (Senge, 1998; Senge et al., 2000). Cada nivel de aprendizaje tiene procesos propios de aprendizaje. A nivel individual, el proceso de aprendizaje incluye *intuir* (capacidad de comprender en forma preconsciente algo nuevo de lo cual no tiene explicación previa); *atender* (proceso activo guiado por preconceptos y las habilidades cognitivas del observador de buscar información del contexto); *retener* (transformar la información de un evento para su representación en la memoria del observador como reglas o conceptos expresados en forma de imágenes o construcciones verbales); *producir* (conversión de representaciones simbólicas en acciones) y *motivar* (en la presencia de incentivos un aprendizaje todavía no evidenciado puede transformarse en acción).

Entre los individuos y los grupos surge el proceso de *interpretación* y el de *experimentación*. El proceso de *interpretación* es entendido como la explicación a través de palabras, imágenes y metáforas y/o acciones de una idea propia a otros lo que se traduce en aprendizaje en un contexto social desde la perspectiva de la Teoría Cognitiva Social. Y el proceso de *experimentación* es el realizado por individuos y grupos cuyo resultado añade significado a sus interpretaciones cognitivas. Desde la perspectiva de la Teoría Cognitiva Social, en ambos niveles solo se produce aprendizaje cuando el individuo se da cuenta que el resultado es consecuencia de sus acciones.

A nivel grupal se pueden identificar los procesos de aprendizaje de conversación (o diálogo) y modelado social (como facilitador de altos niveles de aprendizaje a través de la observación que permite modelar acciones, **aprender reglas y decisiones al observar a otros y extraer principios abstractos contenidos en los pensamientos y acciones exhibidas por otros; lo que permite aprender reglas generales para manejar diferentes situaciones antes que solo tener respuestas especificas o rutinas pre-establecidas)**.

Entre grupos y la organización surge el proceso de *integración* definido como "el proceso de desarrollar una comprensión compartida entre individuos y la realización de acciones coordinadas a través de ajuste mutuos". Finalmente, a nivel organizacional surge el proceso de aprendizaje identificado como *institucionalizar* definido como el proceso de asegurar que las acciones rutinarias ocurran ya que el aprendizaje de los individuos y grupos es asimilado en la organización a través de procedimientos, estructuras, sistemas y estrategia (Crossan et al., 1999).

Definido el modelo de aprendizaje organizacional a nivel de individuos y grupos, la búsqueda de la excelencia organizacional a través de la mejora del proceso de decisión lleva a un proceso de sistematización del mismo, así como la transmisión de experiencias pasadas mediante bases de datos relacionales y la aplicación de Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión (HAPD).

Implicancias del proceso de decisión en el Aprendizaje Organizacional

El Modelo Extendido de Aprendizaje Organizacional identifica tres niveles de aprendizaje: 1) individuo; 2) grupo; y 3) la organización así como diferentes rutas de integración que van desde el individuo a la organización y de la organización al individuo ya que el aprendizaje individual aislado no garantiza el aprendizaje organizacional ya que es necesario un proceso de transferencia entre todos los integrantes de la institución para institucionalizar el conocimiento generado (Senge, 1998; Senge et al., 2000). Dado que todos los integrantes de una organización deciden en cada una de las cinco funciones gerenciales (planear, organizar, integrar el personal, dirigir y controlar) es necesario considerar en los diferentes niveles de decisión el resultado del proceso de decisión y encontrar el modo de incorporarlo al conocimiento organizacional.

En el caso de decisiones programadas para enfrentar problemas estructurados (1), la aplicación de procedimientos estandarizados tales como reglas y procedimientos asegura la obtención de un resultado cierto (2). Dado que el contexto

cambia es necesario almacenar los resultados obtenidos y utilizar herramientas que ayuden a determinar reglas de rendimiento y efectividad de las decisiones realizadas.

A medida que la organización enfrenta problemas no estructurados, la relación individuo – grupo organización surge como elemento desencadenador del proceso de decisión. Si se considera la Fase 1 del proceso de decisión (inteligencia) donde se debe identificar el problema, a nivel individual, el proceso de aprendizaje incluye *intuir* (capacidad de comprender en forma preconsciente algo nuevo de lo cual no tiene explicación previa); *atender* (proceso activo guiado por preconceptos y las habilidades cognitivas del observador de buscar información del contexto); *retener* (transformar la información de un evento para su representación en la memoria del observador como reglas o conceptos expresados en forma de imágenes o construcciones verbales); y *producir* (conversión de representaciones simbólicas en acciones).

Entre cada individuo y el grupo al cual pertenece surge el proceso de *interpretación* entendido como la explicación a través de palabras, imágenes, metáforas y/o acciones de una idea propia a otros lo que se traduce en aprendizaje en un contexto social. Por lo que el problema detectado en el contexto es compartido y analizado en forma grupal para poder pasar a la Fase 2 e identificar criterios de decisión, ponderarlos y desarrollar alternativas de solución del problema identificado.

En esta instancia del proceso de decisión se manifiestan los procesos de aprendizaje de conversación (o diálogo) y modelado social (como facilitador de altos niveles de aprendizaje a través de la observación que permite modelar acciones, **aprender reglas y decisiones al observar a otros y extraer principios abstractos contenidos en los pensamientos y acciones exhibidas por otros; lo que permite aprender reglas generales para manejar diferentes situaciones antes que solo tener respuestas especificas o rutinas pre-establecidas)**. Esto es requerido para poder hallar consenso rápidamente a través de la

diversidad cultural de los individuos que componen la organización al buscar los elementos culturales comunes.

Luego de identificados los criterios de decisión, ponderarlos y desarrollar alternativas de solución del problema bajo análisis, se pasa a la Fase 3 donde se evalúan las alternativas generadas y se elige la que presenta mejores resultados para la organización. Es ahora necesario elevar la propuesta de solución del problema a niveles superiores de decisión por lo que entre el grupo y la organización surge el proceso de *integración* definido como "el proceso de desarrollar una comprensión compartida entre individuos y la realización de acciones coordinadas a través de ajuste mutuos". Este proceso permite, a medida que se profundiza entre los integrantes, crear una visión y valores compartidos que alinean los procesos de decisión con los objetivos estratégicos a alcanzar. Cuando se autoriza la decisión, sigue el paso de implementar la alternativa elegida y evaluar la eficacia de dicha decisión.

El resultado de la evaluación de la decisión implementada se realimenta al grupo surgiendo el proceso de *experimentación* el cual es realizado por individuos y grupos dando como consecuencia un *aprendizaje* cuando el individuo se da cuenta que el resultado es consecuencia de sus acciones. Es lo que en términos de aprendizaje organizacional Chris Argyris (1991) define como un doble lazo de aprendizaje (Argyris, 1991). A nivel de individuo es necesario promover dicho proceso de aprendizaje a través de la *motivación* (en la presencia de incentivos un aprendizaje todavía no evidenciado puede transformarse en acción). El establecimiento de un contexto altamente cambiante enfrenta a individuos y grupos a descubrir la complejidad de decidir y la necesidad de incorporar Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión para poder mejorar el impacto de las decisiones en los resultados organizacionales.

Finalmente, a nivel organizacional surge el proceso de aprendizaje identificado como *institucionalizar* definido como el proceso de asegurar que las acciones rutinarias ocurran ya

que el aprendizaje de los individuos y grupos es asimilado en la organización a través de procedimientos, estructuras, sistemas y estrategia (Crossan et al., 1999). Esto es cierto si el problema se ha vuelto rutinario. En la práctica, la volatilidad del contexto mueve las decisiones a áreas de incertidumbre específica o general por lo que es necesario registrar dichos procesos de aprendizaje en bases de datos relacionales y asociarlas a modelos orientados a análisis estadístico, geográfico, social, financiero, matemático, analítico, de simulación o de optimización para resolver el creciente número de problemas no estructurados que surgen.

Notas

(1) Nota del Autor: Una decisión programada es aquella que se aplica a problemas estructurados o rutinarios cuya resolución se alcanza aplicando criterios preestablecidos o procedimientos establecidos para lidiar con dicha situación (Robbins & Coulter, 2005).

(2) Nota del Autor: En relación con la resolución de problemas estructurados puede identificarse tres tipos de decisiones programadas: 1) procedimiento definido como el conjunto de pasos sucesivos que da el gerente para responder a un problema estructurado luego de identificarlo; 2) regla definida como una declaración explícita de lo que pueden y no pueden hacer los gerentes; y 3) políticas entendidas como normas que establecen parámetros generales para quien decide, en lugar de declarar explícitamente qué debe o no debe hacerse, y establecen un término ambiguo que deja la interpretación a quien decide (Robbins & Coulter, 2005).

Referencias

Anzoise, E., Scaraffia, C., & Curadelli, S. (2016, octubre 20 y 21, 2016). *Modelos de decisión en el Aprendizaje Organizacional en la Educación Superior.* Paper presented at the IV Congreso Internacional ECEFI 2016 - Cuarto Congreso Internacional de Educadores en Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería: ECEFI 2016, Mendoza, Argentina.

Argote, L. (2013). *Organizational Learning. Creating, Retaining and Transferring Knowledge*. New York: Springer US.

Argyris, C. (1991). Teaching Smart People how to Learn. *Harvard Business Review*(Mayo - Junio 1991), 99 - 109.

Argyris, C., & Schön, D. A. (1995). *Organizational Learning II: Theory, Method, and Practice* (1st ed.). Reading, MA: Addison-Wesley.

Caldwell, R. (2012). Systems Thinking, Organizational Change and Agency: A Practice Theory. Critique of Senge's Learning Organization. *Journal of Change Management*, 1-20.

Castaneda, D. I., & Rios, M. F. (2007). From Individual Learning to Organizational Learning. *The Electronic Journal of Knowledge Management, 5*(4), 363 - 372.

Crossan, M. M., Lane, H. W., & White, R. E. (1999). An Organizational Learning Framework: From Intuition to Institution. *The Academy of Management Review, 24*(3), 522-537.

Cyert, R. M., & March, J. G. (1963). *A behavioral theory of the firm* (1st ed.). Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Chatterjee, S. (2011). Organizational Learning and Learning Organization: A Critical Review – A Paradox. *Asian Journal Of Computer Science And Information Technology, 1*(3), 64 -70.

Daepp, M. I. G., Hamilton, M. J., West, G. B., & Bettencourt, L. M. A. (2015). The mortality of companies. *Interface - Journal of Royal Society, 12*(106). doi:10.1098

Dollimore, D. E. (2006). *Darwinian Evolutionary Ideas in Business Economics and Organization Studies.* (Doctor of Philosophy), University of Hertfordshire Hertfordshire, UK. Retrieved from https://uhra.herts.ac.uk/bitstream/handle/2299/14978/DollimoreThesis.pdf?sequence=1

Drucker, P. F. (2007). *The Effective Executive* (2nd Revised ed.). New York: Elsevier.

Duncan, R. B., & Weiss, A. (1979). Organizational learning: Implications for organizational design. In B. Staw (Ed.), *Research in Organizational Behavior* (pp.75-123). Greenwich,CT: JAI Press.

Dutton, J. M., & Thomas, A. (1984). Treating Progress Functions as a Managerial Opportunity. *Academy of Management Review, 9*(2).

Finger, M., & Brand, S. B. (1999). The concept of the "learning organization" applied to the transformation of the public sector. In M. Easterby-Smith, L. Araujo, & J. Burgoyne (Eds.), *Organizational Learning and the Learning Organization*. London: Sage.

Fiol, C. M., & Lyles, M. A. (1985). Organizational Learning. *The Academy of Management Review, 10*(4), 803-813.

George, P. (2016). The Scary Truth About Corporate Survival. *Harvard Business Review*(December 2016), 24–25.

Govindarajan, V., & Srivastava, A. (2016). *Strategy When Creative Destruction Accelerates*. Tuck School of Business. Dartmouth College. Retrieved from https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2836135

Grünig, R., & Kühn, R. (2013). *Successful Decision-Making. A Systematic Approach to Complex Problems* (M. Montani, A. Clark, & C. O'Dea, Trans. 3rd ed.). Berlin Springer-Verlag.

Hannan, M. T., & Freeman, J. (1984). Structural Inertia and Organizational Change. *American Sociological Review, 49*(2), 149-164.

Hedberg, B. (1981). How organizations learn and unlearn? . In P. C. Nystrom & W. H. Starbuck (Eds.), *Handbook of Organizational Design: Adapting Organizations to their Environments* (Vol. 1, pp. 8-27). London: Oxford University Press.

Hodgson, G. M. (2013). Understanding Organizational Evolution: Toward a Research Agenda using Generalized Darwinism. *Organization Studies (OS), 34*(7), 973-992. doi:10.1177/0170840613485855

March, J. G., & Olsen, J. P. (1975). The uncertainty of the past: Organizational learning under ambiguity. *European Journal of Political Research, 3*, 147-171.

Nicholson, N., & White, R. (2006). Darwinism-A new paradigm for organizational behavior? *Journal of Organizational Behavior, 27*(2 - Special Issue: Darwinian Perspectives on Behavior in Organizations), 111-119. doi: 10.1002/job.345

Probst, G., & Bassi, A. (2014). *Tackling Complexity. A Systemic Approach for Decision Makers*. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing.

Reeves, M., Levin, S., & Ueda, D. (2016). The Biology of Corporate Survival. *Harvard BusinessReview*(January–February2016),46–55

Reeves, M., Love, C., & Tillmanns, P. (2012). Your Strategy Needs a Strategy. *Harvard Business Review*(September 2012).

Robbins, S. P., & Coulter, M. (2005). *Administración* (8 ed.). México: Pearson Educación de México, S.A. de G.V.

Senge, P. M. (1998). *La quinta disciplina: el arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje* (C. Gardini, Trans.). Buenos Aires: Ediciones Granica, S.A.

Senge, P. M., Kleiner, A., Roberts, C., Ross, R., Roth, G., & Smith, B. (2000). *La danza del cambio: Los retos de sostener el impulso en organizaciones abiertas al aprendizaje*. Bogotá: Editorial Norma.

Shrivastava, P., & Mitroff, I. I. (1982). Frames of reference managers use: A study in applied sociology of knowledge. In R. Lamb (Ed.), *Advances in strategic management* (pp. 161-182). Greenwich, CT: JAI Press.

Silins, H., Zarins, S., & Mulford, B. (2002). What Characteristics and Processes Define a School as a Learning Organisation? Is This a Useful Concept To Apply to Schools? *International Education Journal, 3*(1), 11.

Tsang, E. (1997). Organizational learning and the learning organization: a dichotomy between descriptive and prescriptive research. *Human Relations, 50*(1), 57-70.

Zietsma, C., Winn, M., Branzei, O., & Vertinsky, I. (2002). The war of the woods: Facilitators and impediments of organizational learning processes. *British Journal of Management, 13*(Special Issue 2), 61-74.

* * *

25

Aprendizaje organizacional y proceso de decisión: Impacto del uso de Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión

Esteban Anzoise, Cristina Scaraffia, Julio Cuenca

Resumen: La supervivencia de las organizaciones en el actual contexto volátil requiere un proceso de mejora de sus procesos de decisión, así como el aceleramiento de la integración de los mismos en la estructura organizacional. Desde la perspectiva del Aprendizaje Organizacional se realiza un estudio de la integración de las fases del Proceso de Decisión No Secuencial con el Modelo Extendido de Aprendizaje Organizacional y se identifican las distintas Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión (HAPD) de aplicación. Como principales resultados, se identifican los factores que apoyan y se oponen al uso de las HAPD orientadas a modelos y al conocimiento. Se correlaciona las fases del proceso de decisión con las diferentes HAPD; y se relaciona los distintos tipos de Decisión y las Técnicas de Decisión asistidas y no asistidas por HAPD, en particular las orientadas a conocimiento y a modelos. Como principales conclusiones se halla que: 1) las actividades de decisión requieren herramientas orientadas a modelos y al conocimiento; 2) se halla un uso limitado de las herramientas orientadas al conocimiento en la fase de identificación del proceso de decisión; 3) es necesario un proceso de transferencia entre todos los integrantes de la organización para institucionalizar el conocimiento generado; 4) predominan las decisiones en áreas de incertidumbre por lo que es necesario su registro y su asociación con modelos de decisión; y 5) existe una ausencia de estudios sistemáticos en el proceso de difusión de las herramientas orientadas a modelos y conocimiento.

Palabras claves: aprendizaje organizacional, modelos de decisión, herramientas de apoyo al proceso de decisión

Introducción

Una organización que aprende a actuar de manera eficiente, se adapta fácilmente al cambio, detecta y corrige los errores y mejora continuamente sus procesos de decisión y el logro de

sus objetivos (Argyris & Schön, 1995; Silins, Zarins, & Mulford, 2002). Diversos trabajos de investigación muestran el impacto de las correctas decisiones en las organizaciones. Como muestra, puede citarse el estudio de los procesos de decisión de administradores de nivel superior realizado por Capgemini en UK. Este estudio revela que los administradores en dicha categoría realizan un promedio de 20 decisiones diarias con un impacto financiero promedio de £167.000 y una tasa de error del 24% (Grünig & Kühn, 2013). Sin embargo, diversos estudios en el área de procesos de decisión muestran que un alto porcentaje de ejecutivos decide basados en su experiencia previa, modelos mentales o un simple conjunto heurístico de reglas de decisión (Ariely, Rao, & Yager, 2016; Grünig & Kühn, 2013; Kepner & Tregoe, 1997; Probst & Bassi, 2014; Stern, 2003). Estos procesos de decisión pueden ocurrir sin una real comprensión del complejo sistema en el cual se halla inmersa la organización.

Todo proceso de decisión está delimitado por los objetivos a alcanzar, recursos disponibles y el tiempo en el cual se deben alcanzar los objetivos propuestos (Project Management Institute, 2004). Existe coincidencia tanto a nivel global como a nivel de Latinoamérica de que para el 2020 se requerirán capacidades de decidir de mayor nivel de sofisticación y con mayor velocidad de generación (Blase, DiFilippo, Feindt, & Yager, 2016; Blase, Fiendt, Yager, Rao, & Wixom, 2016). Diversos estudios coinciden en que el proceso de decisión requiere elegir el modo de decidir y la realización de un proceso secuencial o no secuencial que permite elegir el mejor curso de acción (Grünig & Kühn, 2013; Mintzberg, Raisinghani, & Théorêt, 1976).

En el contexto de la administración, el proceso de entender la realidad requiere un adecuado balance entre la visión intuitiva de la misma y el resultado de la realización de procesos de observación, cuasi-experimentación y experimentación. El uso de datos como salida directa de dichos procesos conduce en general a decisiones erróneas. Es necesario convertirlos en información al procesarlos a través de diversas herramientas y agregarles contexto. Finalmente, se debe convertir la

información en conocimiento al someterla a un proceso de análisis que permite su testeo y validación lo que da un alto grado de exactitud a su contenido (Myatt, 2012).Por ello los modelos mentales resultan limitados y es necesario el uso de simulaciones basadas en modelos teóricos cercanos a la realidad compleja (Brehmer & Allard, 1991; Grünig & Kühn, 2013). La revisión de la literatura existente muestra los resultados potenciales de las distintas Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión (HAPD) basadas en la Tecnología de la Información. Sin embargo, su uso no se halla tan extendido como debiera en el contexto volátil del siglo XXI en el cuál las organizaciones luchan por sobrevivir y prosperar. Este trabajo realiza un análisis de la literatura existente a nivel organizacional y aplica el Modelo de Fuerzas de Kurt Lewin (Lewin, 1947) para identificar los factores que soportan y resisten el proceso de adopción y difusión de las HAPD en las organizaciones.

Implicancias del proceso de decisión en el Aprendizaje Organizacional

Zietsma, et al. (2002) desarrollan el modelo extendido de aprendizaje organizacional (Zietsma, Winn, Branzei, & Vertinsky, 2002) como una mejora al modelo basado en la Teoría de Aprendizaje Multinivel (Crossan, Lane, & White, 1999) como se muestra en la figura 1. Este modelo extendido de aprendizaje organizacional se ha aplicado a diferentes tipos de organizaciones, incluso las de educación superior (Anzoise, Scaraffia, & Curadelli, 2016; Castaneda & Rios, 2007).

El Modelo Extendido de Aprendizaje Organizacional identifica tres niveles de aprendizaje: 1) individuo; 2) grupo; y 3) la organización así como diferentes rutas de integración que van desde el individuo a la organización y de la organización al individuo ya que el aprendizaje individual aislado no garantiza el aprendizaje organizacional al ser necesario un proceso de transferencia entre todos los integrantes de la organización para institucionalizar el conocimiento generado (Senge, 1998; Senge et al., 2000). Dado que todos los integrantes de una organización deciden en cada una de las cuatro funciones

gerenciales (planear, organizar, dirigir y controlar) es necesario considerar en los diferentes niveles de decisión el resultado del proceso de decisión y encontrar el modo de incorporarlo al conocimiento organizacional.

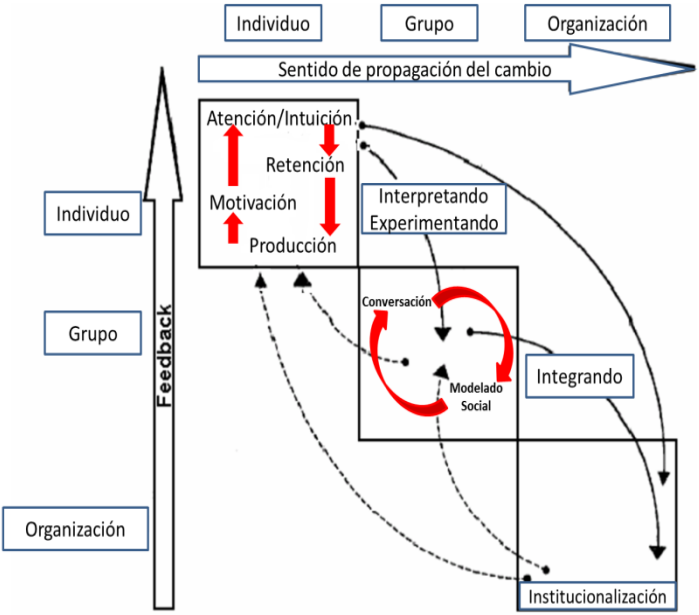


Figura 2: *Modelo extendido de aprendizaje organizacional*

Fuente: Adaptado de Zietsma, C., Winn, M., Branzei, O., & Vertinsky, I. (2002). The war of the woods: Facilitators and impediments of organizational learning processes. British Journal of Management, 13 (Special Issue 2), 61-74..

En el caso de decisiones programadas para enfrentar problemas estructurados, la aplicación de procedimientos estandarizados tales como reglas y procedimientos asegura la obtención de un resultado cierto. Dado que el contexto cambia es necesario almacenar los resultados obtenidos y utilizar herramientas que ayuden a determinar reglas de rendimiento y efectividad de las decisiones realizadas.

A medida que la organización enfrenta problemas no estructurados, la relación individuo – grupo - organización surge como elemento desencadenador del proceso de decisión. Si se considera la Fase 1 del proceso de decisión (inteligencia) donde se debe identificar el problema, a nivel individual el proceso de aprendizaje incluye intuir (capacidad de comprender en forma preconsciente algo nuevo de lo cual no tiene explicación previa); atender (proceso activo guiado por preconceptos y las habilidades cognitivas del observador de buscar información del contexto); retener (transformar la información de un evento para su representación en la memoria del observador como reglas o conceptos expresados en forma de imágenes o construcciones verbales); y producir (conversión de representaciones simbólicas en acciones). Mientras que a nivel global, solo el 53% de las decisiones son parcialmente basadas en datos – de las cuales el 33% son en el proceso de identificar el problema -, en Latinoamérica el 71% de las decisiones son parcialmente basadas en datos – de las cuales el 57% son en el proceso de identificar el problema (Blase, DiFilippo, et al., 2016).

Entre cada individuo y el grupo al cual pertenece surge el proceso de interpretación entendido como la explicación a través de palabras, imágenes y metáforas y/o acciones de una idea propia a otros lo que se traduce en aprendizaje en un contexto social. Por lo que el problema detectado en el contexto es compartido y analizado en forma grupal para poder pasar a la Fase 2 e identificar criterios de decisión, ponderarlos y desarrollar alternativas de solución del problema identificado.

En esta instancia del proceso de decisión se manifiestan los procesos de aprendizaje de conversación (o diálogo) y modelado social (como facilitador de altos niveles de aprendizaje a través de la observación que permite modelar acciones, aprender reglas y decisiones al observar a otros y extraer principios abstractos contenidos en los pensamientos y acciones exhibidas por otros; lo que permite aprender reglas generales para manejar diferentes situaciones antes que solo tener respuestas especificas o rutinas pre-establecidas). Esto es

requerido para poder hallar consenso rápidamente a través de la diversidad cultural de los individuos que componen la organización al buscar los elementos culturales comunes. Mientras que a nivel global, solo el 53% de las decisiones son parcialmente basadas en datos – de las cuales el 6% son predictivas en cuanto a la solución del problema, en Latinoamérica el 71% de las decisiones son parcialmente basadas en datos – de las cuales el 0% son predictivas en cuanto a la solución del problema (Blase, DiFilippo, et al., 2016).

Luego de identificados los criterios de decisión, ponderarlos y desarrollar alternativas de solución del problema bajo análisis, se pasa a la Fase 3 donde se evalúan las alternativas generadas y se elige la que presenta mejores resultados para la organización. Es ahora necesario elevar la propuesta de solución del problema a niveles superiores de decisión por lo que entre el grupo y la organización surge el proceso de integración definido como "el proceso de desarrollar una comprensión compartida entre individuos y la realización de acciones coordinadas a través de ajuste mutuos". Este proceso permite, a medida que se profundiza entre los integrantes, crear una visión y valores compartidos que alinean los procesos de decisión con los objetivos estratégicos a alcanzar. Cuando se autoriza la decisión, sigue el paso de implementar la alternativa elegida y evaluar la eficacia de dicha decisión.

El resultado de la evaluación de la decisión implementada se realimenta al grupo surgiendo el proceso de experimentación el cual es realizado por individuos y grupos dando como consecuencia un aprendizaje cuando el individuo se da cuenta que el resultado es consecuencia de sus acciones. Es lo que en términos de aprendizaje organizacional Chris Argyris (1991) define como un doble lazo de aprendizaje (Argyris, 1991). A nivel de individuo es necesario promover dicho proceso de aprendizaje a través de la motivación (en la presencia de incentivos un aprendizaje todavía no evidenciado puede transformarse en acción). El establecimiento de un contexto altamente cambiante enfrenta a individuos y grupos a descubrir la complejidad de decidir y la necesidad de incorporar Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión (HAPD) para

poder mejorar el impacto de las decisiones en los resultados organizacionales.

Finalmente, a nivel organizacional surge el proceso de aprendizaje identificado como institucionalizar definido como el proceso de asegurar que las acciones rutinarias ocurran ya que el aprendizaje de los individuos y grupos es asimilado en la organización a través de procedimientos, estructuras, sistemas y estrategia (Crossan et al., 1999). Esto es cierto si el problema se ha vuelto rutinario. En la práctica, la volatilidad del contexto mueve las decisiones a áreas de incertidumbre específica o general por lo que es necesario registrar dichos procesos de aprendizaje en bases de datos relacionales y asociarlas a modelos orientados a análisis estadístico, geográfico, social, financiero, matemático, analítico, de simulación o de optimización para resolver el creciente número de problemas no estructurados que surgen.

Definido el modelo de aprendizaje organizacional a nivel de individuos y grupos, la búsqueda de la excelencia organizacional a través de la mejora del proceso de decisión lleva a un proceso de sistematización del mismo, así como la transmisión de experiencias pasadas mediante bases de datos relacionales y la aplicación de Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión (HAPD). Sin embargo, la aplicación sistemática de dichas herramientas es todavía limitada. A nivel global, solo el 35% de los ejecutivos de alto rango basan sus decisiones principalmente en datos internos y la información resultante del análisis sistemático de datos o estadísticas, mientras que el 33% decide en base a experiencia e intuición y el 25% en base a consultoría externa (Ariely et al., 2016).

Identificación de los factores que apoyan y se oponen al uso de las Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión (HAPD) orientadas a modelos y al conocimiento.

La revisión de la literatura existente muestra los resultados potenciales de las distintas Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión (HAPD) basadas en la Tecnología de la Información. Sin embargo, su uso no se halla tan extendido como debiera en el contexto volátil del siglo XXI en el cuál las orga-

nizaciones luchan por sobrevivir y prosperar. Dado que su adopción y difusión en las organizaciones implica un proceso de cambio organizacional, la aplicación del Modelo de Fuerzas de Kurt Lewin permite identificar los factores que soportan y resisten el proceso de adopción y difusión de las HAPD en las organizaciones (Lewin, 1947).

Las fuerzas que apoyan el proceso de adopción y difusión de las HAPD en las organizaciones están presentes tanto dentro como fuera de ellas. Las fueras externas identificadas que soportan el proceso de adopción son: 1) cambios en los mercados internacionales,) cambio en la estructura de negocios a nivel nacional, 3) cambio en las condiciones económicas, 4) nuevas leyes y regulaciones, 5) cambio en tendencias demográficas, y 6) avances tecnológicos (Wagner & Hollenbeck, 1992).Las fueras internas identificadas que soportan el proceso de adopción son: 1) limitaciones en el suministro de materia prima, 2) comprensión creciente de la necesidad de cambio, 3) caída de la producción tanto en calidad como en cantidad, 4) cambio en la perspectiva de negocio de la organización, y 5) sensación de que el cambio es necesario. Las fuerzas que resisten el cambio son físicas, emocionales e intelectuales. La Teoría de Desarrollo Organizacional identifica las siguientes categorías inclusivas de dichas fuerzas: 1) resistencia cultural, 2) limitaciones de recursos, 3) amenazas al poder y la influencia, 4) barreras organizacionales y 5) percepción defensiva (Northcraft & Neale, 1994; Wagner & Hollenbeck, 1992).

Aplicando esta estructura de análisis es posible identificar una serie de ventajas y limitaciones que presentan las Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión (HAPD) orientadas a modelos y al conocimiento. Entre sus ventajas, se puede enumerar, el menor costo que un modelo específico para una determinada situación; más rápido de implementar que sistemas basados en datos reales; y la capacidad de realizar proyecciones. Como principales limitaciones puede citarse la dificultad de cuantificar los datos de contexto ya que existen siempre variables cualitativas; la existencia de suposiciones de diseño que no siempre coinciden con las suposiciones del

que decide; las limitaciones en recolectar todos los datos requeridos por el proceso de decisión; y la falta de conocimiento tecnológico por parte de los usuarios de los DSS para entender el tipo de proceso a realizar.

De igual forma es posible identificar, para dicho tipo de herramientas, una serie de desventajas y factores que soportan su adopción y los que resisten su uso. Entre sus desventajas puede citarse la brecha entre las suposiciones del contexto sobre las que se basa y el contexto organizacional actual lo que reduce la exactitud de las predicciones; la dependencia de los DSS para decidir en desmedro del uso del pensamiento crítico por parte de los integrantes de la organización; el costo creciente de desarrollo de los DSS y el requerimiento de capacidad de pensamiento abstracto para entender los modelos subyacentes en el diseño de los DSS. De igual forma se puede identificar como factor de éxito la habilidad integrativa del usuario del modelo (Al-Mamary, Alina Shamsuddin, & Aziati, 2013; Aldhmour & Eleyan, 2012; Zoltners, 1981). Finalmente, diversos factores organizaciones resisten la implementación y uso de DSS en el contexto organizacional como el miedo de aprender nuevos conceptos lo que aleja a los individuos de su zona de confort y la resistencia al uso de nuevas herramientas tecnológicas (Juneja, 2018; Liu, Lee, & Chen, 2011; Sharda, Barr, & McDonnell, 1988; Singh, 1999); la dificultad para entender fácilmente los modelos matemáticos formales embebidos en los mismos (Al-Mamary et al., 2013; Lilien & Rangaswamy, 2004; Stern, 2003); la perspectiva personal del usuario hacia el modelo de decisión; variables situacionales y personales; nivel de satisfacción con el modelo de decisión; y el estilo cognitivo del usuario (Ram, 1987; Schultz & Henry, 1981). El análisis preliminar de la literatura muestra también una ausencia de estudios sistemáticos en el proceso de difusión de dichas herramientas a nivel organizacional.

Principales conclusiones.

Como principales conclusiones se halla que al considerar el proceso de decisión en cada una de las etapas de aprendizaje (individuo – grupo – organización) identificadas en el Modelo

Extendido de Aprendizaje Organizacional, el aprendizaje individual aislado no garantiza el aprendizaje organizacional ya que es necesario un proceso de transferencia entre todos los integrantes de la institución para institucionalizar el conocimiento generado (Senge, 1998; Senge et al., 2000).

Como siguiente conclusión se halla que al integrar las diferentes Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión (HAPD) en las tres fases del proceso de decisión no secuencial (identificación; desarrollo y selección) hay un uso limitado de las DSS orientadas al conocimiento en la fase de identificación (Blase, DiFilippo, et al., 2016), que incluye las rutinas de reconocimiento y de diagnóstico, durante la cual se busca comprender el estilo del contexto que despierta el proceso de decisión y determinar la relación causa – efecto existente.

Como tercera conclusión se halla que la volatilidad del contexto mueve las decisiones a áreas de incertidumbre específica o general por lo que es necesario registrar dichos procesos de aprendizaje en bases de datos relacionales y asociarlas a modelos orientados a análisis estadístico, geográfico, social, financiero, matemático, analítico, de simulación o de optimización para resolver el creciente número de problemas no estructurados que surgen. Esta acción identificada como institucionalización del aprendizaje organizacional requiere el registro de dicho conocimiento a través de procedimientos, estructuras, sistemas y estrategia (Crossan et al., 1999).

Como cuarta conclusión se halla que las actividades de decisión que incluyen la búsqueda orientada a encontrar soluciones ya hechas; de diseño para desarrollar nuevas soluciones o modificar las existentes; y de selección caracterizada por un proceso iterativo y multietapas que incluye una investigación en profundidad progresiva de las alternativas identificadas, en un contexto altamente volátil, requieren la adopción de Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión (HAPD) orientados a modelos y las orientadas al conocimiento. Dichas decisiones predictivas basadas en datos son de uso limitado a nivel global y nulo en el contexto de Latinoamérica. La investigación muestra que los modelos mentales resultan limitados y

es necesario el uso de simulaciones basadas en modelos de decisión cercanos a la realidad compleja (Brehmer & Allard, 1991; Grünig & Kühn, 2013). Finalmente, el análisis preliminar de la literatura muestra también una ausencia de estudios sistemáticos en el proceso de difusión de dichas herramientas a nivel organizacional.

Referencias

Al-Mamary, Y. H., Alina Shamsuddin, & Aziati, N. (2013). The Impact of Management Information Systems Adoption in Managerial Decision Making: A Review Management Information Systems, 8(4), 010-017.

Aldhmour, F. M., & Eleyan, M. B. (2012). Factors Influencing the Successful Adoption of Decision Support Systems: The Context of Aqaba Special Economic Zone Authority. International Journal of Business and Management, 7(2).

Anzoise, E., Scaraffia, C., & Curadelli, S. (2016, octubre 20 y 21, 2016). Modelos de decisión en el Aprendizaje Organizacional en la Educación Superior. Paper presented at the IV Congreso Internacional ECEFI 2016 - Cuarto Congreso Internacional de Educadores en Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería: ECEFI 2016, Mendoza, Argentina.

Argyris, C. (1991). Teaching Smart People how to Learn. Harvard Business Review(Mayo - Junio 1991), 99 - 109.

Argyris, C., & Schön, D. A. (1995). Organizational Learning II: Theory, Method, and Practice (1st ed.). Reading, MA: Addison-Wesley.

Ariely, D., Rao, A., & Yager, F. (2016). The human factor: Working with machines to make big decisions. Retrieved from New York: https://www.pwc.com/us/en/advisory-services/big-decision-sur vey/assets/the_human_factor_working_with_machines_to_make_big_decisions.pdf

Blase, P., DiFilippo, D., Feindt, M., & Yager, F. (2016). Data-driven: Big decisions in the intelligence age. Retrieved from New York: https://www.pwc.com/us/en/advisory-services/big-decision-sur-vey/assets/data_driven_big_decisions_in_the_intelligence_age.pdf

Blase, P., Fiendt, M., Yager, F., Rao, A., & Wixom, B. (2016). Speed and sophistication: Building analytics into your workf lows Re-

trieved from New York: https://www.pwc.com/us/en/advisory-services/assets/pwc-big-decisions-speed-and-sophistication.pdf

Brehmer, B., & Allard, R. (1991). Dynamic Decision Making: The effects of task complexity and feedback delay In B. B. a. J. L. J. Rasmussen (Ed.), Distributed Decision Making: Cognitive models of cooperative work. Chichester, England: Erlbaum.

Castaneda, D. I., & Rios, M. F. (2007). From Individual Learning to Organizational Learning. The Electronic Journal of Knowledge Management, 5(4), 363 - 372.

Crossan, M. M., Lane, H. W., & White, R. E. (1999). An Organizational Learning Framework: From Intuition to Institution. The Academy of Management Review, 24(3), 522-537.

Grünig, R., & Kühn, R. (2013). Successful Decision-Making. A Systematic Approach to Complex Problems (M. Montani, A. Clark, & C. O'Dea, Trans. 3rd ed.). Berlin Springer-Verlag.

Juneja, P. (2018). Limitations & Disadvantages of Decision Support Systems. Retrieved from https://www.managementstudyguide.com website: https://www.managementstudyguide.com/limitations-and-disadvantages-of-decision-support-systems.htm

Kepner, C. H., & Tregoe, B. B. (1997). The New Rational Manager (Updated edition ed.): Princeton Research Press.

Lewin, K. (1947). Frontiers in Group Dynamics: Concept, Method and Reality in Social Science; Social Equilibria and Social Change. Human Relations, 1(5), 38.

Lilien, G. L., & Rangaswamy, A. (2004). Marketing Engineering: Computer-assisted Marketing Analysis and Planning. Victoria, B.C.: DecisionPro, Inc.

Liu, Y., Lee, Y., & Chen, A. N. K. (2011). Evaluating the effects of task-individual-technology fit in multi-DSS models context: A two-phase view. Decision Support Systems, 51(3), 688-700. doi:10.1016/j.dss.2011.03.009

Mintzberg, H., Raisinghani, D., & Théorêt, A. (1976). The Structure of "Unstructured" Decision Processes. Administrative Science Quarterly, 21(2), 246-275.

Myatt, M. (2012, 3/28/2012 @ 12:16PM). 6 Tips for Making Better Decisions. LEADERSHIP Retrieved from http://www.forbes.com/sites/mikemyatt/2012/03/28/6-tips-for-making-better-decisions/

Northcraft, G. B., & Neale, M. A. (1994). Organizational Behavior: A Management Challenge (2nd ed.). Forth Worth, TX: Dryden Press.

Probst, G., & Bassi, A. (2014). Tackling Complexity. A Systemic Approach for Decision Makers. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing.

Project Management Institute. (2004). Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos (Tercera Edición ed.). Newtown Square, PA, EE.UU.: Project Management Institute, Inc.

Ram, S. (1987). A Model of Innovation Resistance. Advances in Consumer Research, 14, 208-212.

Schultz, R. L., & Henry, M. D. (1981). Implementing Decision Models. In R. L. Schultz & A. A. Zoltners (Eds.), Marketing Decision Models. New York: Elsevier Science Publishing Co.

Senge, P. M. (1998). La quinta disciplina: el arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje (C. Gardini, Trans.). Buenos Aires: Ediciones Granica, S.A.

Senge, P. M., Kleiner, A., Roberts, C., Ross, R., Roth, G., & Smith, B. (2000). La danza del cambio: Los retos de sostener el impulso en organizaciones abiertas al aprendizaje. Bogotá: Editorial Norma.

Sharda, R., Barr, S. H., & McDonnell, J. C. (1988). Decision Support System Effectiveness: A Review and an Empirical Test. Management Science, 34(2), 139-159. doi:10.1287/mnsc.34.2.139

Silins, H., Zarins, S., & Mulford, B. (2002). What Characteristics and Processes Define a School as a Learning Organisation? Is This a Useful Concept To Apply to Schools? International Education Journal, 3(1), 11.

Singh, S. K. (1999). Toward an Understanding of EIS Implementation Success. In M. A. Mahmood & E. J. Szewczak (Eds.), Measuring Information Technology Investment Payoff: Contemporary Approaches (Vol. 1, pp. 107-127). Hershey, PA: Idea Group Inc (IGI).

Stern, D. (2003). Increasing acceptance of managers for the use of marketing decision support systems. Paper presented at the Australian and New Zealand Marketing Academy Conference, Adelaide, Australia.

Wagner, J. A., III, & Hollenbeck, J. R. (1992). Management of Organizational Behavior. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, Inc.

Zietsma, C., Winn, M., Branzei, O., & Vertinsky, I. (2002). The war of the woods: Facilitators and impediments of organizational learning processes. British Journal of Management, 13(Special Issue 2), 61-74

Zoltners, A. A. (1981). Normative Marketing Models. In R. L. Schultz & A. A. Zoltners (Eds.), Marketing Decision Models. New York: Elsevier Science Publishing Co.

* * *

26

Diseño de instrumento para medir la difusión de las Herramientas deApoyo al Proceso de Decisión

Esteban Anzoise, Cristina Scaraffia, Julio Cuenca

Resumen: Este trabajo se orienta al desarrollo de un instrumento de medición de Intención de Comportamiento basado en la Teoría del Comportamiento Planeado. Se aplicará para medir la intención de uso de herramientas basadas en modelos en los procesos de decisión de organizaciones de base tecnológica y financieras. Según esta teoría, las actitudes, las normas subjetivas y las percepciones del control del comportamiento determinan la intención del comportamiento. A su vez, se postula que el comportamiento humano se guía por tres tipos de consideraciones: creencias sobre las consecuencias probables del comportamiento (creencias conductuales), creencias sobre las expectativas esperadas por los demás (creencias normativas) y creencias sobre la presencia de factores que pueden facilitar o impedir el desempeño del comportamiento (creencias de control). *Ergo* la intención es el antecedente inmediato de la conducta. Se desarrolló un cuestionario conformado por 14 preguntas con una escala adjetiva bipolar de siete puntos. Se utilizó un Panel de Expertos para establecer la validez del contenido y un Grupo de Discusión para confirmar la validez aparente. A fines de 2018 se halla en ejecución el estudio piloto [N=114] en la población identificada para poder establecer la viabilidad y confiabilidad del cuestionario.

Palabras Clave: Teoría del comportamiento planeado, modelos de decisión, herramientas de apoyo al proceso de decisión.

Introducción

La búsqueda de la excelencia organizacional a través de la mejora del proceso de decisión lleva a la sistematización del mismo, así como la transmisión de experiencias pasadas mediante bases de datos relacionales y la aplicación de Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión (HAPD). Sin embargo, la aplicación sistemática de dichas herramientas es

todavía limitada. A nivel global, solo el 35% de los ejecutivos de alto rango basan sus decisiones principalmente en datos internos y la información resultante del análisis sistemático de datos o estadísticas, mientras que el 33% decide en base a experiencia e intuición y el 25% en base a consultoría externa (Ariely, Rao, & Yager, 2016).

Desde la perspectiva de la Teoría del Comportamiento Planeado [Theory of Planned Behavior] (Ajzen, 1991, 2002, 2011; Harder, 2009) se halla un modelo que explica cómo las actitudes pueden predecir un comportamiento probable. Ajzen postula que las intenciones determinan el comportamiento de manera causal y que las intenciones son provocadas por dos factores: la influencia de las actitudes hacia el comportamiento y la influencia de las normas subjetivas (Ajzen y Fishbein, 1977). Las actitudes son función de creencias comportamentales (información disponible sobre las consecuencias de la conducta y valoración de la misma) y las normas subjetivas son función de creencias normativas (percepción de lo que referentes significativos para el sujeto piensen sobre si debería realizar o no esa conducta y de la motivación para cumplir con ellos).

El propósito de este estudio es ampliar el conocimiento existente sobre el proceso de decisión en organizaciones privadas de base tecnológica utilizando la Teoría del Comportamiento Planeado como base teórica para investigar el uso de HAPD basadas en modelos en dicho tipo de organizaciones.

La aplicación de la Teoría de Comportamiento Planeado para identificar el proceso de difusión de las Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión (HAPD)

La necesidad de decidir en un contexto de complejidad creciente donde los modelos mentales presentan altas limitaciones frente a modelos de decisión de base estadística lleva a formular como pregunta válida aquella sobre los factores que ayuden a la adopción de modelos de decisión en el proceso de decisión de los ejecutivos de organizaciones privadas.

Uno de los instrumentos más difundidos para poder medir la aceptación de herramientas tecnológicas es el cuestionario validado que surge del Modelo de Aceptación de Tecnología [Technology Acceptance Model (TAM)] desarrollado a partir del Modelo de Difusión propuesto por Rogers (Rogers, 1995; Rogers, Singhal, & Quinlan, 1995), la Teoría de Acción Razonada de Ajzen (Fishbein & Ajzen, 1975), y los trabajos de Davis (1989) y Moore y Benbasat (1991) (Davis, 1989; Moore & Benbasat, 1991). A partir de dicho trabajo surgen modelos más avanzados siendo el más comprehensivo el modelo de la Teoría Unificada de Aceptación y Uso de la Tecnología [Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT)] (Venkatesh, Morris, Davis, & Davis, 2003; Yaghoubi & Bahmani, 2010; Yayla & Hu, 2007). Sin embargo diversas meta-análisis muestran la superioridad predictiva de la Teoría del Comportamiento Planeado de Ajzen [Theory of Planned Behavior (TPB)] en relación con los modelos considerados anteriormente (Anzoise, Scaraffia, & Curadelli, 2015; Mathieson, 1991; Taylor & Todd, 1995) ya que provee "una comprensión más completa de los determinantes de la intención" (Taylor & Todd, 1995, p. 169; Yayla & Hu, 2007).

A partir de la Teoría de Acción Razonada [Theory of Reasoned Action (TRA)] de Ajzen (Fishbein & Ajzen, 1975) surge la Teoría del Comportamiento Planeado [Theory of Planned Behavior (TPB)] (Ajzen, 1988, 1991) con el objeto de incluir aquellas situaciones donde el individuo no tiene un completo control sobre su comportamiento. En este modelo se introducen mejoras al modelo de TRA al incluir el control volitivo sobre el comportamiento (Ajzen, 1988).

Desde la perspectiva de la Teoría del Comportamiento Planeado [Theory of Planned Behavior] (Ajzen, 1991, 2002, 2011; Harder, 2009) se halla un modelo que explica cómo las actitudes pueden predecir un comportamiento probable. Ajzen postula que las intenciones determinan el comportamiento de manera causal y que las intenciones son provocadas por dos factores: la influencia de las actitudes hacia el comportamiento y la influencia de las normas subjetivas (Ajzen y Fishbein, 1977). Las actitudes son función de creencias

comportamentales (información disponible sobre las consecuencias de la conducta y valoración de la misma) y las normas subjetivas son función de creencias normativas (percepción de lo que referentes significativos para el sujeto piensen sobre si debería realizar o no esa conducta y de la motivación para cumplir con ellos) como se muestra en la figura 1.

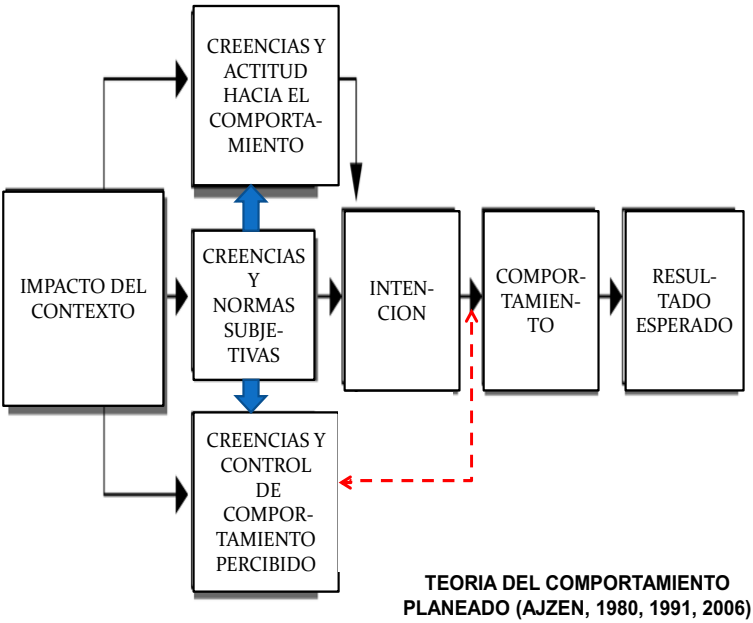


Figura 3: *Modelo de la Teoría del Comportamiento Planeado*

Tomando como referencia el Modelo del Comportamiento Planeado se hace necesario determinar la influencia de las actitudes hacia el uso de Herramientas de Apoyo al Proceso de Decisión (HAPD) orientadas a modelos y la influencia de las normas subjetivas. En este caso particular, la actitud [nota1] sería medida por un enunciado del tipo "*Utilizar una HAPD orientada a modelos en mi proceso de decisión en forma regular en los próximos 12 meses sería para mi …*" en tres escalas Likert de cuatro puntos que van de *muy bueno* (4) a

muy malo (1); *muy inteligente* (4) a *nada inteligente* (1) y desde *muy beneficioso* (4) a *muy perjudicial* (1).

A su vez, la actitud del individuo queda definida por el balance producido entre la creencia respecto del comportamiento esperado de utilizar el modelo de decisión y la evaluación que realiza el individuo del comportamiento esperado. La creencia respecto del comportamiento esperado [nota 2] estaría medida por un enunciado del tipo "*Utilizar una HAPD orientada a modelos en mi proceso de decisión significaría que mi decisión sería más acertada*" en una escala Likert de cuatro puntos que va de *muy cierto* (4) a *muy falso* (1). La evaluación que realiza el individuo de las consecuencias positivas del comportamiento esperado, en términos de probabilidad subjetiva, estaría medida por un enunciado del tipo "*Es muy probable que utilizar una HAPD orientada a modelos en forma regular en mi proceso de decisión mejoraría el resultado de mi decisión* …" en una escala Likert de cuatro puntos que va de *muy cierto* (4) a *muy falso* (1). De igual forma, las consecuencias negativas de dicho comportamiento se podrían medir por un enunciado del tipo "*Es muy probable que utilizar una HAPD orientada a modelos en mi proceso de decisión incrementaría el riego asociado con el resultado buscado de mi decisión* …" en una escala Likert de cuatro puntos que va de *muy cierto* (4) a *muy falso* (1). Si la evaluación es positiva, ambos constructos generarían una idea de la forma "*Es muy probable que utilizando una HAPD orientada a modelos en forma regular en mis procesos de decisión mejoraré la calidad de mis decisiones*". Estos constructos resultan equivalentes al atributo "ventaja relativa", identificada por Rogers en el proceso de Difusión de la Innovación, por el cual una innovación es percibida como mejor que la idea que reemplaza.

El segundo constructo que modela la Intención de Comportamiento está definido por las Normas Subjetivas [Subjective norms] que comprenden las diferentes componentes de presión social percibida por el individuo por parte de sus referentes más importantes para que realice o no un determinado comportamiento (valores familiares e

individuales, normas legales, reglas institucionales, etc.). En el caso de una organización privada, la presión social lo ejercerá el cuerpo directivo de la misma para realizar decisiones correctas que tengan un impacto positivo en el resultado financiero. En este caso, las normas subjetivas del individuo quedan definidas por el balance producido entre las creencias normativas respecto del comportamiento esperado de utilizar el modelo de decisión y la motivación para utilizar el modelo de decisión que experimenta el individuo.

En este caso particular, la influencia de las normas subjetivas [nota 3] sobre la intención de comportamiento sería medida por un enunciado del tipo "*La mayoría de la gente cuya opinión es importante para mi piensa que yo debería utilizar una HAPD orientada a modelos en mi proceso de decisión*" en una escala Likert de cuatro puntos que va de *muy cierto* (4) a *muy falso* (1). En relación con la medición de las creencias normativas, respecto del comportamiento esperado, estaría medida por un enunciado del tipo "*Mi supervisor inmediato piensa que yo debería utilizar una HAPD orientada a modelos en mi proceso de decisión*" en una escala Likert de cuatro puntos que va de *muy cierto* (4) a *muy falso* (1). Finalmente, en relación con la motivación para utilizar una HAPD orientada a modelos que experimenta el individuo estaría medida por un enunciado del tipo "*En general, deseo hacer aquello que mi supervisor inmediato piensa que yo debería hacer*" en una escala Likert de cuatro puntos que va de *totalmente de acuerdo* (4) a *totalmente en desacuerdo* (1). Estos constructos resultan equivalentes al atributo "compatibilidad con prácticas y valores existentes", identificada por Rogers en el proceso de Difusión de la Innovación, por el cual una innovación es percibida como que es consistente con los valores, experiencias pasadas y necesidades de los potenciales adoptantes.

Para que un determinado comportamiento se materialice, es necesario que la intención se mantenga en el tiempo desde que es definida hasta el momento de su realización. Esto requiere por parte del individuo la existencia del Control de Comportamiento Percibido, factor determinante para comprender aquellos comportamientos cuya realización

requiere control por parte del individuo. Siguiendo a Ajzen, se puede definir el Control Percibido del Comportamiento [nota 4] como la valoración que hace el individuo sobre si un determinado comportamiento será fácil o no de llevarse a cabo; es decir, el control que la persona cree tener sobre la realización de un determinado comportamiento. Diversos estudios refuerzan la evidencia de que las actitudes, los valores individuales y los factores de control tienen una significativa influencia en el comportamiento de los individuos (Ajzen, 2011; Harder, 2009; Moore & Benbasat, 1991; Taylor & Todd, 1995; Tseng, Tu, Lee, & Wang, 2013; Wu, Tao, & Yang, 2008) y en particular en usuarios de nuevas tecnologías de base informática aplicaciones informáticas tales como acceso bancario y transacciones bursátiles a través de Internet (Bhattacherjee, 2000; Yaghoubi & Bahmani, 2010); uso de posicionadores satelitales (Tseng et al., 2013); y telemedicina (Chau & Hu, 2002).

En el caso particular de estudio, para que el comportamiento esperado de que el individuo utilice una HAPD orientada a modelos en su proceso de decisión, es necesario que la intención se mantenga en el tiempo desde que es definida hasta el momento de su realización. Esto requiere por parte del individuo la existencia del Control de Comportamiento Percibido, factor determinante para comprender aquellos comportamientos cuya realización requiere control por parte del individuo. Siguiendo a Ajzen, para este caso se puede definir el Control de Comportamiento Percibido como la valoración que hace el individuo sobre si utilizar una HAPD orientada a modelos en su proceso de decisión será fácil o no de llevarse a cabo; es decir, el control que el ejecutivo cree tener sobre la realización de un determinado comportamiento. Dicha valoración estaría medida por un enunciado del tipo "*Si estuviera en dicha situación, utilizaría una HAPD orientada a modelos en mi proceso de decisión*" en una escala Likert de cuatro puntos que va de *muy cierto* (4) a *muy falso* (1).

En el caso de los ejecutivos de organizaciones privadas, el Control de Comportamiento Percibido queda definido por las Creencias de Control [nota 5] del individuo sobre el

comportamiento esperado. Dichas Creencias de Control están dadas por el balance producido entre la convicción que uno puede exitosamente ejecutar el comportamiento requerido para producir el resultado esperado [self-efficacy] y la estimación que realiza el individuo que un comportamiento determinado producirá un cierto resultado [outcome expectancy]. En este aspecto, el constructo "Creencias de Control" [Control beliefs] resulta equivalente al atributo "simplicidad y facilidad de uso", identificada por Rogers en el proceso de Difusión de la Innovación, por el cual una innovación es percibida como difícil de comprender y utilizar. Finalmente, en relación con los atributos "resultados observables" (lo que permite reducir la incertidumbre) y "posibilidad de ser experimentada" (en forma limitada lo que también permite reducir la incertidumbre) identificados por Rogers en el proceso de Difusión de la Innovación, se postula que existe una correlación positiva con la estimación que realiza el individuo que un comportamiento determinado producirá un cierto resultado [outcome expectancy].

Desde la perspectiva del Modelo de Difusión propuesto por Rogers (1995) se pueden identificar cuatro factores que pueden facilitar o impedir el resultado final del comportamiento esperado: 1) la existencia de resultados observables; 2) la posibilidad de probar la tecnología antes de adoptarla; 3) las competencias requeridas para poder utilizar dicha tecnología por parte del sujeto; y 4) la adecuación de dicha tecnología al contexto cultural del individuo. En relación con el primer factor, la existencia de resultados observables estaría medida por un enunciado del tipo "*Si tuviera resultados visibles de su uso, utilizaría una HAPD orientada a modelos en mi proceso de decisión*" en una escala Likert de cuatro puntos que va de *muy cierto* (4) a *muy falso* (1). El siguiente factor - la posibilidad de probar la tecnología antes de adoptarla - estaría medido por un enunciado del tipo "*Si pudiera experimentar o probar su uso, utilizaría una HAPD orientada a modelos en mi proceso de decisión*" en una escala Likert de cuatro puntos que va de *muy cierto* (4) a *muy falso* (1). El factor relacionado con las competencias requeridas para poder utilizar dicha tecnología

por parte del sujeto estaría medido por un enunciado del tipo "*Si tuviera adecuada experiencia y conocimiento de dicha herramienta, utilizaría una HAPD orientada a modelos en mi proceso de decisión*" en una escala Likert de cuatro puntos que va de *muy cierto* (4) a *muy falso* (1). Finalmente, el último factor identificado relacionado con la adecuación de dicha tecnología al contexto cultural del individuo estaría medido por un enunciado del tipo "*Si su uso fuera aceptado por todos en la organización, utilizaría una HAPD orientada a modelos en mi proceso de decisión*" en una escala Likert de cuatro puntos que va de *muy cierto* (4) a *muy falso* (1).

Conclusiones y Acciones a desarrollar

La Teoría del Comportamiento Planeado [Theory of Planned Behavior] (Ajzen, 1991, 2002, 2011; Harder, 2009) no tiene un diseño de cuestionario validado por su autor. Sin embargo, a partir del diseño propuesto por Ajzen (1991) la aplicación de este modelo llevó al diseño de cuestionarios ad-hoc para numerosas situaciones de análisis. Por ello se diseñó un cuestionario como instrumento válido y confiable para medir la intención de uso de HAPD orientadas a modelos en los procesos de decisión de organizaciones de base tecnológica y financieras. Se utilizó un Panel de Expertos para establecer la validez del contenido, así como un Grupo de Discusión [Focus Group] (N=5) para confirmar la validez aparente o lógica [face validity]. A fines de 2018 se halla en ejecución el estudio piloto [N=158] en la población identificada de ejecutivos en organizaciones de base tecnológica y financieras a nivel de Argentina para poder establecer la viabilidad y confiabilidad del cuestionario.

Notas de los autores

[1] Actitud queda definida como el grado en el cual el comportamiento esperado es valorado positiva o negativamente por el individuo (Ajzen, 1991, p. 188)

[2] La creencia respecto del comportamiento esperado refleja la creencia del individuo sobre las consecuencias probables del comportamiento. Este concepto está basado en una probabilidad subjetiva de que el comportamiento producirá cierto resultado [Behavioral beliefs].

[3] Las Normas Subjetivas se definen como la presión social percibida por el individuo para realizar o no un determinado comportamiento (Ajzen, 1991, p. 188).

[4] El Control Percibido del Comportamiento se analiza desde la perspectiva de la Teoría de Auto Eficacia de Bandura (1977) cuando define el Sentido de Auto Eficacia del individuo respecto del comportamiento esperado como la convicción de que uno puede exitosamente ejecutar el comportamiento esperado para producir el resultado esperado (Bandura, 1977).

[5] La Creencia de Control del individuo es la probabilidad subjetiva - estimación que realiza el individuo – que un factor facilitador o inhibidor del comportamiento esperado se presente. Dichos factores incluyen competencias y habilidades requeridas; disponibilidad de tiempo y dinero; la cooperación de otras personas; etc.

Referencias

Ajzen, I. (1988). *Attitudes, Personality and Behavior*. Chicago: Dorsey Press.

Ajzen, I. (1991). The Theory of Planned Behaviour. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 50*, 179-211.

Ajzen, I. (2002). Perceived Behavioral Control, Self-Efficacy, Locus of Control, and the Theory of Planned Behavior. *Journal of Applied Social Psychology, 32*, 1-20.

Ajzen, I. (2011). The theory of planned behaviour: reactions and reflections. *Psychol Health, 9*, 1113-1127.

Anzoise, E., Scaraffia, C., & Curadelli, S. (2015). El proceso de aceptación de Modelos de Decisión en organizaciones privadas. In J. R. R. L. O. Guillermo Cuadrado (Ed.), *Conceptos y lenguajes en ciencia y tecnología* (1st ed., Vol. 5, pp. 335 - 360). Valparaíso, Región de Valparaíso, Chile.: Instituto de Filosofía - Universidad de Valparaíso.

Ariely, D., Rao, A., & Yager, F. (2016). *The human factor: Working with machines to make big decisions*. Retrieved from New York: https://www.pwc.com/us/en/advisory-services/big-decision-survey/assets/the_human_factor_working_with_machines_to_make_big_decisions.pdf

Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review, 84*, 191-215.

Bhattacherjee, A. (2000). Acceptance of e-commerce services: The case of electronic brokerages. *IEEE*

Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Part A. Systems and Humans, 30(4), 411-420.

Chau, P. Y. K., & Hu, P. J. H. (2002). Investigating healthcare professionals' decisions to accept telemedicine technology: An empirical test of competing theories. *Information and Management, 39*(4), 297-311.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology *MIS Quarterly, 13*(3), 318-340.

Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). *Belief, Attitude, Intention, and Behavior: An Introduction to Theory and Research*. Reading, MA: Addison-Wesley.

Harder, A. (2009). *Planned Behavior Change: An Overview of the Diffusion of Innovations*. Florida: Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida Retrieved from http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/WC/WC08900.pdf.

Mathieson, K. (1991). Predicting User Intentions: Comparing the Technology Acceptance Model with the Theory of Planned Behavior. *Journal: Information Systems Research, 2*(3), 173-191.

Moore, G. C., & Benbasat, I. (1991). Development of an Instrument to Measure the Perceptions of Adopting and Information Technology Innovation. *Information System Research, 2*(3), 192-215.

Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of Innovation* (4th ed.). New York, NY: Free Press.

Rogers, E. M., Singhal, A., & Quinlan, M. M. (1995). Diffusion of Innovations. In D. Stacks & M. Salwen (Eds.), *An integrated approach to communication theory and research.* . New York: New York: Routledge.

Taylor, S., & Todd, P. A. (1995). Understanding information technology usage: A test of competing models. *Information Systems Research, 6*(2), 144-176.

Tseng, H. C., Tu, P. P., Lee, Y. C., & Wang, T. S. (2013). A Study of Satellite Navigation Fleet Management System Usage in Taiwan with Application of C-TAM-TPB Model. *Information Technology Journal, 12*(1), 15-27.

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: toward a unified view. *MIS Quarterly, 27*(3), 425-478.

Wu, Y.-L., Tao, Y.-H., & Yang, P.-C. (2008). The use of unified theory of acceptance and use of technology to confer the behavioral model of 3G mobile telecommunication users. *Journal of Statistics & Management Systems, 11*(5), 919-949.

Yaghoubi, N.-M., & Bahmani, E. (2010). Factors Affecting the Adoption of Online Banking An Integration of Technology Acceptance Model and Theory of Planned Behavior. *International Journal of Business and Management, 5*(9).

Yayla, A., & Hu, Q. (2007, 7 - 9 June). *User Acceptance of E-Commerce Technology: A Meta-Analytic Comparison of Competing Models.* Paper presented at the EUROPEAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS (ECIS) 2007, St Gallen, Switzerland.

* * *

27

Nueva Generación de Infraestructuras. Lecciones y Desafíos sobre Riesgos Emergentes

Gustavo Alberto Masera, Javier Ulises Ortiz,

Ricardo Palma

Resumen: El propósito de este documento radica en la comprensión de los desafíos que se presentan a las infraestructuras de próxima generación. El método de trabajo se enfoca en el análisis de las líneas que llevan adelante las plataformas asociativas de investigación (*research clusters*) desde una perspectiva integrada sobre el estudio de las infraestructuras. Se plantea que los riesgos emergentes en las mismas, especialmente en las críticas (energía, transporte, tecnologías de la información y comunicación, etc.), serán en los próximos años cuestiones de máximo interés para el conjunto de los países y que formarán parte ineludible de las agendas. Se concluye que la región de América Latina tendrá que preocuparse de invertir, no sólo en el acrecentamiento de las capacidades en infraestructuras, sino también en su protección, reconociendo su criticidad y su vulnerabilidad, además de generar mecanismos de gobernanza.

Palabras Clave: infraestructuras críticas; riesgos; gobernanza.

Introducción

En los últimos años se ha hecho visible la necesidad de reflexionar sobre las llamadas "Infraestructuras de Próxima Generación" (Gheorge et al, 2013). En tal sentido, se han conformado en diversos ámbitos nacionales e internacionales, grupos de investigación (*research clusters*) que reúnen –en una estrategia asociativa de carácter intersectorial- a representantes de puertos, ciudades, empresas, organizaciones, *think tanks* y centros académicos. La idea es brindar una respuesta estratégica frente a las tendencias principales –a modo de nuevos desafíos- para la organización y el funcionamiento de las sociedades: la urbanización, la digitalización y la transición energética.

El propósito central de estas plataformas de conocimiento se orienta a clarificar el debate en relación a los problemas que surgen de la interacción entre las diferentes infraestructuras, y especialmente, aquellos que emergen del cruce de éstas con la electricidad y las tecnologías de la información y comunicación. Es que el hecho de conectar todas las cosas lleva a la vigencia del paradigma E+I (*Electricity plus Information*). (Masera et al, 2005), como principal esquema de análisis. Téngase en cuenta que gran parte de las infraestructuras (puertos, caminos, ciudades, sistemas de interconexión eléctrico, gasoductos) se ha construido durante el siglo pasado, con tecnologías de varias décadas en algunos casos. Pero, tal como lo plantean los especialistas de la nueva generación de infraestructuras, debe garantizarse que éstas funciones correctamente "ahora y en el futuro próximo: "Todos enfrentamos el mismo desafío: ¿cómo hacemos que nuestra infraestructura 'responda', para que pueda responder a los continuos cambios y las principales tendencias? ¿Cómo podemos hacer un mejor uso de las redes existentes con los menores costos sociales posibles y sin perder de vista al usuario final?" cfr. http://www.nextgenerationinfrastructures.eu/

1. Infraestructuras e infraestructuras de nueva generación

Las sociedades contemporáneas descansan sobre numerosas y variadas infraestructuras a modo de conjuntos tecnológicos relativamente estables que articulan los diferentes sistemas vivos del sistema. Desde la perspectiva de la infranómica, la infraestructura es un sistema socio-tecnológico de segundo orden (sistema de sistemas), que cumple con un servicio vital, como es transmitir o transferir un flujo de algo (bienes, información, etc.) entre los nodos del sistema (Gheorghe et al., 2005).

Todas las infraestructuras pueden ser consideradas de nueva generación, pero el rol lo ocupan principalmente estas infraestructuras críticas han sido definidas de diversa manera. Más específicamente, las "Infraestructuras Críticas" (IC) son una red de sistemas interdependientes de gran escala, y que implican complejas distribuciones físicas transfronterizas asociadas a tecnologías y redes cibernéticas, producto de la

interconexión con los sistemas de tecnologías de la información y comunicación (Gheorghe et al., 2005).

La Oficina de Protección de la Infraestructura Crítica de los Estados Unidos (EUA), por ejemplo, las concibe como los sistemas que podrían ser debilitados o destruidos en sus capacidades básicas. En este esquema se pueden incluir, entonces, a los bancos, el transporte, las redes de provisión de agua, servicios del gobierno y otras áreas públicas. Sobre esa concepción se han desarrollado, además, estrategias para asegurar el ciberespacio y la protección física de las infraestructuras criticas (NIPP, 2009) o la asociación para la seguridad de las mismas y la "resiliencia" (Canadá, 2014).

La Organización de los Estados Americanos (OEA) las define como "aquellas instalaciones, sistemas y redes, así como servicios y equipos físicos y de tecnología de la información, cuya inhabilitación o destrucción tendría un impacto negativo sobre la población, la salud pública, la seguridad, la actividad económica, el medio ambiente, servicios de gobierno, o el eficaz funcionamiento de un Estado" (OEA, 2007) y, en consecuencia, sus Estados miembros han convenido en una "Declaración sobre la "Protección de Infraestructura Crítica ante las Amenazas Emergentes", (OEA, 2015).

La Unión Europea coincide en considerarlas como aquellas instalaciones, redes, servicios y equipos físicos y de tecnología de la información cuya interrupción o destrucción pueden tener una repercusión importante en la salud, la seguridad o el bienestar económico de los ciudadanos o en el eficaz funcionamiento de los gobiernos de los Estados miembros (Comisión Europea, 2004). Desde 2006, se desarrolló en este contexto el Programa Europeo de protección de las IC (PEPIC).

Puede notarse que las diversas definiciones colocan el énfasis en los impactos sobre la defensa y la seguridad económica de una sociedad en el nivel regional o nacional.

2. Infraestructuras críticas: una aproximación

Los principales sistemas de infraestructuras críticas son: 1) energía (centrales y redes de energía); 2) abastecimiento de

agua (embalses, almacenamiento, tratamiento de agua potable y redes); 3) tratamiento de desechos; 4) transporte (aeropuertos, puertos, instalaciones intermodales, ferrocarriles y redes de transporte público, sistemas de control del tráfico); 5) infraestructura de la información y comunicación, que incluye las tecnologías de base digital e internet, usadas para gestionar, monitorear y controlar las otras infraestructuras. Además, hay consenso en que las infraestructuras criticas pueden incluir las siguientes área: instituciones financieras; sector sanitario; alimentación; producción, almacenamiento y transporte de mercancías peligrosas (materiales químicos, biológicos, radiológicos y nucleares); administración (servicios básicos, instalaciones, redes de información; etc. (Ortiz, 2012).

En las Infraestructuras críticas se pueden enumerar tres aspectos principales:

1. Su función es la de producir un flujo continuo y universal de servicios básicos que resultan esenciales para el desarrollo económico y social. En otras palabras, son elementos que tienen que estar disponibles para todos, en todo momento. El usuario no se preocupa de la complejidad detrás de su acceso al servicio, puesto que le interesa solamente conectarse y que el servicio esté disponible.

2. Las infraestructuras tienden a no ser posesión de un único dueño (público o privado). Además, cada operador, regulador y usuario pueden tener distintas lógicas de funcionamiento. La regionalización de los mercados, por ejemplo en la Unión Europea, ha conducido al "desacople" de su sistema eléctrico (*unbundling),* donde ningún operador controla la infraestructura de producción o distribución. Entonces, cuando los sistemas se interconectan a través de las fronteras, los mismos entes nacionales ven recortados sus competencias.

3. Las infraestructuras han sido diseñadas para satisfacer necesidades sociales básicas, pero los cambios tecnológicos y organizativos han elevado su nivel de complejidad, quedando sujetas a riesgos internos y externos debido a fallos accidentales o intencionales. Y cuando se producen fallos, éstos tienden a propagarse excediendo los límites

estructurales, funcionales y territoriales de cada sistema singular.

3. Análisis de Riesgos en Infraestructuras

El estudio de los riesgos se encuentra en auge desde la creación relativamente reciente de la organización *International Risk Governance Council* (IRGC, 2005).

Debe tenerse en cuenta que en los inicios de la postguerra fría, Ulrich Beck (1992) introdujo el concepto de "sociedad del riesgo". En 1986 había ocurrido el caso más emblemático sobre la fragilidad de los sistemas tecnológicos. En efecto, el accidente de la planta nuclear de Chernobyl (Ucrania) en la antigua Unión Soviética, mostró simbólicamente el límite de la modernidad (Lechte, 2003).

Beck argumenta que la verdadera naturaleza del riesgo ha cambiado. Sostiene que la tecnología actual ha creado nuevas formas de riesgo e impone una peligrosidad cualitativamente distinta a la del pasado. El riesgo ha dejado de ser contingente para convertirse en un rasgo estructural del nuevo orden de cosas y, además, hacia fin de siglo, el riesgo ha pasado a tener secuelas sobre un área geográfica más extensa y crecientemente global. Beck señala problemas y critica las limitaciones de la sociedad actual, donde los accidentes no pueden ser aislados (como el cambio climático), aunque no llega a proponer un modo para gestionar esos problemas. A pesar de ello, su valoración del riesgo social ha sido muy influyente y ha permitido profundizar los debates sobre el diálogo político en torno a temas críticos: ambientales, alimentarios, energéticos, etc. (Mythe, 2004). En análisis más recientes (p.e. Bischoff, 2008), junto a una más precisa determinación de amenazas y fallas potenciales, de sus causas y consecuencias, se ha avanzado en la elaboración de perspectivas intersectoriales; incluso se asiste al nacimiento de una nueva área de conocimiento (la *Infranomics* como disciplina de disciplinas), de las que se derivan modelizaciones, instrumentos y prácticas (Gheorge et al, 2013).

En el mundo globalización aparecen riesgos sistémicos por su impacto sobre el conjunto de la sociedad; los que, incluso, pueden desarrollar un contagio internacional. Aunque no hay una definición aceptada universalmente, sin embargo, se han clasificado dos posibles categorías de riesgo (Arven and Renn, 2010): aquellas donde el riesgo se expresa mediante probabilidades de un suceso aunado a valoraciones sobre expectativas; y las otras, que sostienen que los riesgos se expresan fundamentalmente por la ocurrencia de eventos imprevistos y las consecuencias que pueden emanar de los mismos, con un fuerte componente de incertidumbre. De acuerdo a lo expuesto, puede afirmarse que la noción de riesgo se refiere, en suma, a la incertidumbre acerca de la gravedad de las consecuencias (o resultados) de una actividad, con respecto a algo que la sociedad percibe como valioso, vital o crítico. Los riesgos pueden derivarse de numerosos factores y en distintos ámbitos: *cracks* financieros; crisis alimentaria; calentamiento global; aumento de la desertificación; estancamiento de las negociaciones comerciales; problemas de suministros de gas y restricciones energéticas; renovados conflictos geopolíticos; fallas en los sistemas, como *black-outs* eléctricos de grandes dimensiones (OECD, 2003).

Más recientemente, durante el desarrollo de la cumbre anual del Foro Económico Mundia titulado “Creando un futuro compartido en un mundo fracturado” se presentó el informe anual “Riesgos Globales 2018” (Davos, 2018). En el mismo se propicia el fomento de la resiliencia en sistemas complejos y se advierte que debido a la alta exigencia que se efectúa a los sistemas, el ritmo acelerado de los cambios puede resultar en una intensificación de 4 riesgos como: a)Las amenazas cibernéticas y los ciberataques así como la proliferación de armas de destrucción masiva; b) La pérdida de la biodiversidad, clima extremo y colapso de ecosistemas, grandes desastres naturales o ambientales causados por el hombre y el fracaso en la mitigación del cambio climático: c) el aumento de las tensiones geopolíticas; d) el riesgo de que estalle otra crisis financiera.

4. Consideraciones sobre riesgos en infraestructuras críticas

Existe una relación directa entre infraestructuras críticas (IC), nuevas tecnologías (TIC) y sociedad de la información (SI). Por consiguiente, un conjunto de fallos en el funcionamiento de las TIC, pueden hacer colapsar por un cierto período la base técnica de la SI, y ello resultará en la pérdida de transmisiones de datos y del acceso a fuentes de información, afectando otras IC (agua, transporte, electricidad, logística, aeropuertos), lo que en pocos días derivará colapsando la sociedad misma.

El riesgo implica la posibilidad de daño o avería en un sector determinado, por ejemplo, la infraestructura de la información y de la comunicación (ICC), conjuntamente con la extensión de este daño a todas las otras infraestructuras que en la sociedad de la información dependen de ella (IRGC, 2006).

Hay diversos casos testigos de los riesgos que se presentan a las IC. En uno, pueden darse los posibles fallos en las TIC (sistemas operativos, programas de ofimática, cortes masivos de energía eléctrica), y la posibilidad de "cyberataques" a Estados en su totalidad. En otro, puede revelarse la fragilidad de los sistemas de seguridad de determinadas instalaciones. En ambos casos, las nuevas tecnologías se asientan o impactan sobre el espacio urbano donde se estructuran los nodos de IC dadas por el complejo tecnológico-electrónico-informacional. Debe reflexionarse sobre la logística que supone sostener los requerimientos de subsistencia de las grandes concentraciones urbanas y la administración de sus recursos. Es que la concentración urbana crea un nuevo espacio "las megalópolis", constituyéndose en ellas sistemas "meta estables" que las sostienen, y por ello, verdaderamente críticos (Ortiz, 2012).

Los riesgos pueden incidir en las Infraestructuras críticas de una sociedad, afectando la estabilidad política y la prosperidad económica de los países. Además, son procesos que pueden generar cambios en la distribución del poder entre los países, así como efectos catastróficos en regiones vulnerables.

En lo que respecta a los desastres naturales, los terremotos y tsunamis han afectado a todas las civilizaciones en las diversas épocas históricas. La diferencia en la actualidad, es que las consecuencias podrían ser más desastrosas aún, por la difícil continuidad de la vida cotidiana luego de la destrucción de las infraestructuras básicas. Los ejemplos sobran: Nueva Orleáns, posteriormente al huracán Katrina; Haití después del terremoto; Japón, seguidamente a los problemas de la central nuclear de Fukushima, etc. Estos casos evidencian la sensibilidad y el riesgo que representa el impacto sobre las infraestructuras críticas. Al mismo tiempo, dan la impresión de que la sociedad se encuentra al borde de perder el control de frente a un número importante de riesgos, amenazas, desastres y crisis no convencionales (Committee on Improving Risk Analysis Approaches (2009).

Según el *International Risk Governance Council* (2010), que toma la definición de Riesgo de Arven y Renn, el riesgo de las infraestructuras críticas debe ser pensado desde las consecuencias más o menos inciertas de un evento o de una actividad, y desde su potencial impacto en temas críticos, ya sea para la sociedad en su conjunto, ya sea para un grupo o un individuo concreto. Esta ponderación puede comprender cosas como los bienes naturales, el ambiente en su conjunto, la salud humana, los recursos naturales, etc., como elementos más abstractos como la estabilidad social y económica, la privacidad, etc. A pesar de que es difícil prever los riesgos, una de las tareas implicar imaginar escenarios, posibles vías que puedan adoptar, mediante un estudio sistemático de situaciones futuribles, con la finalidad de definir las mejores estrategias paliativas.

El reconocimiento de la importancia de las Infraestructuras críticas se ha propagado por las principales potencias del sistema internacional. Rusia, a partir de la Organización del Tratado de Seguridad Colectiva (OTSC) de la Comunidad de Estados Independientes (CEI) con China, y en conjunción en el marco de la Organización de Seguridad y Cooperación de Shanghai (OCS) han comenzado a crear mayores capacidades de protección de sus IC. Pero, las IC rusas que

aportan energía a Europa, presentan riesgos que potencialmente afectarían la seguridad de los suministros energéticos (Arteaga, 2010). Por ejemplo, las presentes situaciones conflictivas en Ucrania-Crimea, Siria-Irak, Afganistán, etc. son una clara evidencia de lo que se llama riesgos a la “seguridad de los corredores energéticos” (Palma, Masera, 2014).

En el ámbito regional, en el seno de la OEA, se estableció en 2004 un consenso generalizado con el establecimiento de la llamada "Estrategia Interamericana integral para combatir las amenazas a la seguridad cibernética”. Es un enfoque multidimensional y multidisciplinario dirigido a la formación de una cultura de seguridad cibernética, para proteger la infraestructura de las telecomunicaciones, redes y sistemas de información. Posteriormente, la misma OEA propició la creación de una “Red Interamericana de Seguridad Cibernética” (2005), a partir de los grupos nacionales de "vigilancia y alerta", también conocidos al presente como los “Equipos de Respuesta a Incidentes de Seguridad en Computadoras” (CSRITs), cuyos objetivos son: a) identificar y luchar contra las amenazas, independientemente de su origen y motivación; b) formular planes nacionales de respuestas a situaciones de emergencia; c) crear una red interamericana de vigilancia y alerta para diseminar rápidamente información sobre seguridad cibernética y responder a crisis, incidentes y amenazas a la seguridad en computadoras.

Un ejemplo significativo de los nuevos riesgos y de su gestión en un ámbito regional mediante mecanismos de gobernanza, lo reveló la crisis del sistema de interconexión eléctrico europeo en el año 2004, donde a pesar de la pluralidad de actores involucrados, públicos y privados de diferentes países, el conjunto debió actuar de manera coordinada para hacer frente al problema (Gheorghe et al., 2005). Este ejemplo ha mostradoque una adecuada gestión de riesgos: a) posee la ventaja de reducir las externalidades negativas que pueden derivarse potencialmente de las interdependencias negativas o por el contagio de una situación; b) promueve una gestión de la demanda y el ajuste de prioridades en una sociedad; c)

reduce los tiempos de restauración del sistema luego de una falla y así, permite que se mantengan los servicios críticos.

5. Lecciones y desafíos para América Latina

El único futuro posible es que la región asuma una participación activa en la construcción de la sociedad de la información y que pueda generar capacidades para enfrentar los nuevos riesgos, entre ellos, los denominados "guerra híbridas". Así, una nueva visión del desarrollo debe incorporar necesariamente una mejor política de acceso, de inversiones en infraestructuras y de efectivo uso de las nuevas tecnologías (Girard and Perini, 2013).

El objetivo declarado por los documentos de la CEPAL, en tanto que organismo coordinador de las conferencias ministeriales y reuniones preparatorias frente a las Cumbres mundiales, ha sido desde el documento de Bávaro, "incorporar el proyecto de la sociedad de la información en la agenda del desarrollo". Paralelamente, se ha reconocido la diversa velocidad de los países en este proceso, junto a una heterogeneidad de respuestas internas- para la incorporación de la SI. Los dos objetivos salientes de la "revolución digital" propuesta en la Declaración de Montevideo y el Plan de trabajo 2013-2015 para la implementación del eLAC2015 son: 1) cerrar brechas en las tecnologías más avanzadas y de impacto masivo 2) acelerar la difusión de tales tecnologías, lo que implica mejorar el acceso y la apropiación a las mismas (Peres y Hilbert, 2009).

En el Reporte de Seguridad Cibernética e Infraestructura Crítica de las Américas se aprecia un enfoque general de los ataques cibernéticos que sufrieron las infraestructuras críticas a nivel hemisférico, resaltando alarmante "el aumento radical de la sofisticación de los ataques cibernéticos" y "el aumento considerable de los ataques destructivos, o ataques cibernéticos, que fueron concebidos para "eliminar o destruir" los sistemas back-end" (OEA y Trend Micro, 2015).

En ese marco, países como Brasil tienen ya definida una política clara de inserción en el nuevo mundo del conocimiento. Otros, ya tienen iniciativas en estado de

avance, como Chile Digital o Argentina Conectada y las últimas acciones en materia de ciberseguridad frente a los desafíos que presenta la Cumbre del G-20 en Buenos Aires, entre otros. Pero, en la cuestión específica del fortalecimiento de las infraestructuras y del riesgo en las Infraestructuras, aún queda mucho por realizar. Además, una verdadera concepción de la integración regional, no puede dejar de lado la cuestión de las infraestructuras ni la de los riesgos asociados a este proceso.

Los desafíos para América Latina, son:

1. Los diversos temas que surgen de la conformación de infraestructuras van a influir, domésticamente, en la calidad de vida, bienestar y posibilidades de proyección de los ciudadanos; y asimismo, influirá sobre la definición de los intereses en las políticas exteriores, en los procesos de cooperación regional y en el comportamiento general de la región;

2. Tener más infraestructuras con más tecnologías proyecta sin dudas un camino hacia el desarrollo; aunque, paradójicamente, esta vía conlleva fragilidad, porque las ventajas poseen una fuerte interconexión con sus potenciales efectos. El desafío de una buena gestión de riesgos descansa, entonces, en el aprovechamiento del beneficio de las infraestructuras más nuevas tecnologías, aunado a una estrategia de minimización de las consecuencias negativas asociadas a los riesgos;

3. Es imprescindible la gestión de los riesgos de carácter regional, en especial de lo que poseen un alto nivel de impacto sobre la salud, la seguridad, el medio ambiente, la economía o la sociedad, y que estos sean evaluados mediante mecanismos consultivos con una amplia participación. La dualidad desarrollo-riesgos necesita ser analizada por los diversos públicos interesados (*stakeholders)* e incluida como variable clave por los formuladores de políticas;

4. Las infraestructuras deben ser operadas por empresas (privadas o públicas pero con organización de negocios y

búsqueda de rentabilidad. De aquí la necesidad de gobernanza como una herramienta para la gestión integrada cuestiones críticos, donde participan múltiples actores, con intereses y valoraciones diversas;

5. Hay que pensar como objeto de análisis el riesgo específico en las infraestructuras críticas. La seguridad en el abastecimiento del servicio y los impactos que podrían causar una extensa interrupción de los servicios deberían constituir una prioridad de alto nivel para la legislación, la coordinación de políticas, la planificación y la evaluación de escenarios;

6. Los riesgos globales no están confinados dentro de los límites nacionales, y por lo tanto, no pueden ser gestionados mediante acciones o políticas de un solo sector o gobierno aislado. La gobernanza de riesgos, y de las Infraestructuras críticas conectadas regionalmente, requiere una especial coordinación entre los países involucrados;

7. Las infraestructuras en su acelerada evolución, "consumen" productos y servicios, al mismo tiempo que habilitan nuevas capacidades sociales y económicas. Esta situación define el campo de juego del desarrollo: por ejemplo, ¿qué energía se produce y cómo se consume la energía nuclear versus nuevas fuentes?, ¿cuántas empresas pueden generar y distribuir energía? De modo que hay que evaluar los efectos sobre la estructura de trabajo y ampliar los estudios sobre la necesidad / oportunidad de recursos especializados con nuevas habilidades profesionales mediante la ampliación de competencias;

8. Las Infraestructuras críticas implican una continua formación de las competencias científicas y tecnológicas, a modo de ventaja comparativa dinámica. Pero, puesto que las mismas son diseñadas, operadas, mantenidas y utilizadas por personas, las capacidades profesionales estarán determinadas sobre la eficiencia y competencia que puedan obtener en el funcionamiento continuo y estable de las infraestructuras. Los países más desarrollados ya están invirtiendo en la formación de los profesionales y técnicos que tendrán responsabilidad sobre las IC. Y no se trata sólo de

ingenieros o técnicos, sino también de economistas, especialistas en leyes, sociólogos, etc.

8. Si bien es verdad que los países se encuentran, por momentos, desgarrados entre distintas demandas y solicitudes, también es cierto que la estructura estatal deberá cumplir nuevas funciones y generar capacidades ampliadas en un escenario cada vez más complejo. Incluso, donde la soberanía no es sólo territorial sino espacial, de allí que surgen innovadores conceptos como “Estado Digital” o “Estado Red”.

En suma, se plantea la importancia de fundamentar estrategias para la inserción de América Latina en la comunidad internacional. Además, planificar un sendero de crecimiento de las Infraestructuras críticas, con base en los estudios de infranómica, teniendo en cuenta riesgos y amenazas potenciales. De otra parte, implementar mecanismos de gestión de los riesgos, basados en el desarrollo sostenible y la gobernanza; en un plano más operativo, formular las bases para políticas públicas encaminadas a la gestión y regulación del riesgo.

Conclusión: necesidad de una mayor gobernanza

Desde el punto de vista de los riesgos en infraestructuras, se ha sostenido que las casi dos primeras décadas del siglo XXI han implicado el ingreso a una era signada por la complejidad socio-tecnológica, donde la inestabilidad y la inseguridad no son meramente variables exógenas y circunstanciales, sino rasgos estructurales del sistema social. Es la paradoja del progreso: más desarrollo conlleva una mayor fragilidad, de allí la necesidad de generar un mecanismo de gobernanza más adecuado sobre los problemas emergentes. .

Las ventajas que trae el uso masivo y ubicuo de infraestructuras, cruzadas por nuevas tecnologías de la información y comunicación, pueden convertirse al mismo tiempo en amenazas significativas, debido a sus problemas de seguridad, en niveles y extensión que son difíciles de prever, tanto como es arduo predecir la evolución de las tecnologías y sus empleos futuros. La confiabilidad de las infraestructuras

críticas y la confianza que el ciudadano y la sociedad pueden poner en ellas, están en el centro de la cuestión. En particular, las vulnerabilidades de las Infraestructuras críticas pueden ser gestionadas a través de mecanismos y políticas de gobernanza, representando ésta un nuevo tipo de colaboración entre actores públicos y privados en la toma de decisiones colectivas. La elaboración de los libros verdes y libros blancos, son resultados tangibles de estos amplios procesos consultivos y participativos.

Se concluye que los riesgos emergentes en la SI serán en los próximos años cuestiones de máximo interés para el conjunto de los países y que formarán parte ineludible de las agendas. La región latinoamericana, en particular, al igual que los países desarrollados, tendrá que preocuparse de invertir, no sólo en el acrecentamiento de las capacidades en infraestructuras, sino también en su protección, reconociendo su criticidad y su vulnerabilidad.

Referencias

Aven, T. and O. Renn (2010). *Risk Management and Governance. Concepts, Guidelines and Applications*, Berlin, Springer Verlag.

Beck, U. (1992). *Risk Society. Towards a New Modernity*. London, Sage.

Bischoff, H.J. (2008). *Risks in Modern Society.* Dordrech, Springer.

Canada (2014). *Action Plan for Critical Infrastructure 2014-2017.* Disponible: http://www.publicsafety.gc.ca/cnt/rsrcs/pblctns/pln-crtcl-nfrstrctr-2014-17/index-eng.aspx

CEPAL (2003). *Los Caminos Hacia una Sociedad de la Información en América Latina y el Caribe*, Santiago de Chile, UN-CEPAL.

Comisión Europea (2004). *Hacia la Europa basada en el conocimiento. La Unión Europea y la sociedad de la información*. Lux.: CE.

Committee on Improving Risk Analysis Approaches (2009). *Advancing Risk Assessment*, Washington D.C.,The National Academy Press.

Davos (2018). *Global Risks Report 2018*. Davos, Switzerland.

Gheorghe, A. et. al. (2005). *Critical Infraestructures at Risk*, Dordretch, Springer.

Gheorghe, A., et al. (edit.) (2013). *Infranomics. Sustainability, Engineering Design and Governance*, Dordrech, Springer.

Girard, B. and F. Perini (eds.) (2013). *Enabling Openness: The future of the information society in Latin America and the Caribbean.* Otawa: Canada, IDRC.

International Risk Governance Council [IRGC] (2006), *White Paper on Managing and Reducing Social Vulnerabilities from Coupled Critical Infrastructures*, Geneva.

International Risk Governance Council [IRGC] (2010). *Emerging risks. Sources, drivers and governance issues,* Geneva, Rev. edition.

Lechte (2003). J. *Key Contemporary Concepts.* London, Sage.

Mansell, R. (edit.) (2009). *The Information Society. Critical concepts in sociology*. London and New York, Routledge.

Masera, G. and J. Ortiz (2018). "A Perfect World? Risks and Threats in the Information Society", *International Journal of Research & Methodology in Social Science*, vol. 4, n. 1, (Jan-March),pp 36-49.

Masera, M. et al. (2005): "The Security of Information and Communication Systems and the E+I Paradigm", in: Gheorghe, A. et al., op. cit., p. 35-56.

Mythen, G. (2004). *Ulrich Beck. A Critical Introduction to the Risk Society*. London, Pluto Press.

NETmundial (2014). "Multistakeholder Statement" (April, 24th, 2014). En: http://netmundial.br/wp-content/uploads/2014/04/NETmundial-Multistakeholder-Document.pdf

NIPP (2009). *National Infraestructure Protection Plan. US Department of Homeland Security*.Washington D.C., U.S. De. of Home Security.

OEA (2007). Declaración de Panamá sobre la Protección de la Infraestructura Crítica en el Hemisferio, 01 de marzo de 2007.

OEA (2015). Promoción de la Seguridad Hemisférica, Comisión de Seguridad Hemisférica, 17 de abril 2015.

OEA y Trend Micro (2015). Reporte de Seguridad Cibernética e Infraestructura Crítica de las Américas. Washignton DC. Paris; International Futures Project.

Ortiz, J. (2012). "Estrategia de Defensa Cibernética en la era de la información", *Revista de la Escuela Superior de Guerra del Ejército Argentino*, N° 582, (septiembre-diciembre), p. 89-112.

Palma, R. y G. Masera (2014). "Escenarios energéticos. Aplicación del enfoque PESTEL". Mendoza, ECEFI 2014-UTN.

Peres, W. y M. Hilbert (eds.) (2009). *La sociedad de la información en América Latina y el Caribe.* Santiago de Chile, CEPAL.

Renn, O. (2008). *Risk Governance. Coping with Uncertainty in a Complex World*. London, Esarthscan

* * *

28

Nueva Estrategia de Sintonización Dinámica para un Método de Reducción de Incertidumbre

Paola Caymes-Scutari

Resumen: La incertidumbre presente en los métodos de predicción de incendios forestales es uno de los factores que puede condicionar de manera negativa la calidad de las predicciones. ESSIM-DE es un método general de predicción y reducción de incertidumbre basado en Análisis Estadístico, la metaheurística Evolución Diferencial y Cómputo de Alto Desempeño. Durante el último tiempo ESSIM-DE ha sido estudiado con el fin de mejorar su rendimiento. En este trabajo se presenta una nueva estrategia de sintonización dinámica con el fin de calibrar su rendimiento, de un modo transparente al usuario final.

Palabras claves: sintonización dinámica, modelo de rendimiento, incertidumbre, incendios forestales.

La predicción de un incendio forestal consiste en determinar cuál será la propagación del fuego sobre el terreno en un instante de tiempo futuro. Generalmente, los métodos de predicción implementan modelos que describen el comportamiento del fuego, y utilizan como dato de entrada un grupo de variables representando aquellos factores que condicionan la propagación. Entre ellas encontramos la velocidad y dirección del viento, la pendiente del terreno, el tipo de material combustible, la humedad de dicho material, etc. Lamentablemente, no es posible contar con los valores exactos para estos factores, debido a la imposibilidad de dotar todo el terreno forestal con instrumentos de medición y, sobre todo, debido a que algunos cambian dinámicamente durante el desarrollo del incendio.

Durante los últimos años se ha desarrollado una serie de métodos que pretenden reducir el impacto negativo que causa esta falta de conocimiento acerca del valor de las variables. Tal es el caso del método ESSIM-DE (*Evolutionary Statistical Method with Island Model and Differential Evolution)*, el cual

utiliza Estadística para obtener el patrón de comportamiento de la línea de fuego, el algoritmo evolutivo Evolución Diferencial, para orientar la búsqueda hacia mejores soluciones, y Cómputo en Paralelo a través de un modelo de islas y múltiples poblaciones, con dos jerarquías de procesos que cooperan en la obtención de las predicciones, lo que permite explorar un amplio espacio de búsqueda y a la vez acelerar el proceso de predicción.

ESSIM-DE ha sido estudiado en el último tiempo con el fin de identificar aquellos aspectos que puedan ser factores limitantes de mejor rendimiento, en términos de calidad de las predicciones obtenidas y tiempo de respuesta. La primera mejora consistió en la incorporación de un nuevo operador de **reinicio (r) de la población** al inicio de cada paso de predicción, el cual permite evitar el estancamiento global del proceso de búsqueda. El método con dicho operador (llamado **ESSIM-DE(r)**) ha logrado buenos resultados en calidad de predicciones (Tardivo *et al*, 2017). En la misma línea, nos hemos enfocado en utilizar dicho operador en conjunto con estrategias de sintonización dinámica, las cuales permiten mejorar aquellos aspectos críticos para el rendimiento del método durante la ejecución. La sintonización dinámica consta de cuatro etapas (Naono *et al*, 2010). En la etapa de **instrumentación** se incluyen directivas en el código fuente para registrar ciertas métricas de interés, necesarias para evaluar el comportamiento de la aplicación de acuerdo al tipo de conocimiento específico que se considere en relación a la misma. En la etapa de **monitorización** se registran en tiempo de ejecución dichas métricas, las cuales son procesadas en la etapa de **análisis** y, en base este conocimiento específico, se definen acciones de sintonización necesarias para mejorar el rendimiento. Posteriormente, en la etapa de **sintonización** se aplican, en tiempo de ejecución, las acciones definidas tendientes a mejorar los aspectos críticos.

Recientemente hemos incorporado el proceso de sintonización dinámica aplicado al componente evolutivo de ESSIM-DE(r), con el fin de detectar dinámicamente el **límite (l)** de iteraciones requeridas en la etapa de evolución de las

poblaciones (**ESSIM-DE(lr)**). En este trabajo se presenta una propuesta para mejorar el proceso de sintonización dinámica, en base a una nueva estrategia en la cual se propone analizar la tendencia decreciente de la distribución de la población a lo largo del proceso evolutivo. La nueva propuesta tiene como fin ajustar el rendimiento del método de acuerdo con el contexto de ejecución corriente, así como también al tipo de incendio considerado y a los diferentes parámetros que guían el proceso evolutivo en sí.

El trabajo se estructura de la siguiente manera. Primero, se describe el proceso de predicción general de ESSIM-DE. Posteriormente, se describen las etapas del proceso de sintonización, incluyendo las métricas monitorizadas, analizadas, y las acciones de sintonización tendientes a mejorar el rendimiento. Luego, se define la nueva estrategia de sintonización que se propone en este trabajo, centrada en una de las dos métricas del modelo de rendimiento. Seguido se presentan los resultados obtenidos con esta nueva estrategia, utilizando dos casos de quema controladas reales. Finalmente, se expresan las principales conclusiones y el trabajo a futuro.

Proceso de predicción con ESSIM-DE(lr)

ESSIM-DE(lr) es un método general de reducción de incertidumbre con un esquema paralelo de Múltiples Poblaciones y Migración, o Modelo de Islas. Para realizar la predicción del frente de fuego, en ESSIM-DE(lr) el desarrollo total del incendio es dividido en diferentes instantes de tiempo discretos, denominados pasos de simulación. En cada paso de simulación la entrada es un mapa representando el estado inicial del incendio, y la salida constituye el mapa con la predicción de la línea de fuego. ESSIM-DE(rl) opera en cuatro etapas, ilustradas en la figura 1, que son llevadas a cabo por una jerarquía de procesos en dos niveles. En el nivel superior opera un proceso ***Monitor*** que comanda y supervisa el funcionamiento del nivel inferior, conformado por las islas. En cada isla se implementa con un modelo *Master/Worker* y se administra una población de individuos (muestra), los cuales

representan diferentes combinaciones de valores para las variables que describen el entorno del incendio, también denominado escenario de quema (velocidad y dirección del viento, topografía del terreno, tipo y humedad de la vegetación, etc).

La Figura 1 describe el flujo general del proceso de predicción. La Etapa de Optimización (**EO**) se lleva a cabo entre los procesos ***workers*** **(W)** y el ***Master*** **(M)** de cada isla. Esta etapa permite evolucionar una población de individuos en base al algoritmo Evolución Diferencial (Differential Evolution, DE) (Storn et al, 2005), el cual es un optimizador estocástico basado en múltiples soluciones candidatas, o individuos. El proceso *Master* inicializa la población (**pop)**, aplica los operadores de mutación y cruzamiento de DE para generar nuevos individuos candidatos, y distribuye los individuos entre los *workers*. Los *workers* realizan la simulación de acuerdo al escenario y al mapa real del incendio en el instante t(i-1), y evalúan la aptitud de la predicción obtenida, ponderando la precisión de la simulación mediante a función de *fitness* definida en la expresión (1). ***A*** representa el conjunto de celdas en el mapa real sin el subconjunto de celdas quemadas antes de iniciar el proceso de predicción, y ***B*** representa el conjunto de celdas en el mapa predicho sin el subconjunto de celdas quemadas antes de iniciar la predicción.

$$fitness = \frac{A \cap B}{A \cup B}, fitness \in [0,1] \tag{1}$$

Los *workers* devuelven al *Master* el mapa de quema y la aptitud del mismo para que el Master, siguiendo una política elitista, realice el reemplazo en **pop** (Tardivo et al, 2017). El ***Master*** también comunica individuos de su isla hacia otras islas en un proceso de migración, lo cual permite relacionar los diferentes espacios de búsqueda que representa cada población. Una vez que la población completa las diferentes generaciones evolutivas, es introducida en la Etapa Estadística (**EE**). En esta etapa se construye una matriz de probabilidades (***Matriz prob.***) a partir de la agregación de todos los mapas de quema asociados a los individuos de la

población evolucionada (**pop'**). Cada celda indica la probabilidad de ignición de la misma en base a la información de esa isla (Mendez et al, 2017).

En la Etapa de Calibración (**EC**) se determina la tendencia de la línea de fuego. En esta etapa, el ***Master*** computa lo que denominamos valor clave de ignición (***kign***), el cual será utilizado en la Etapa de Predicción del siguiente instante de tiempo. El ***Monitor*** (**Mon**) recibe las matrices de probabilidades y los valores clave de ignición en su Etapa de Calibración. El ***Monitor*** es el encargado de seleccionar cuál es la isla con mejor aproximación al incendio real, para realizar la predicción de la línea de fuego para el instante t+1 con estos datos, en la Etapa de Predicción (**EP**), usándose nuevamente la expresión (1).

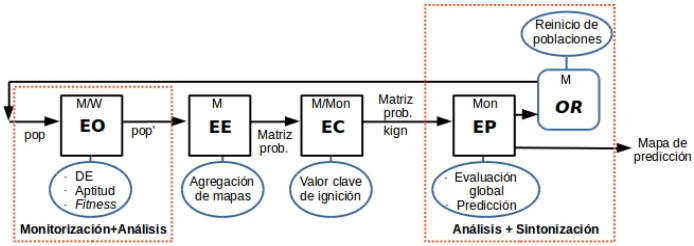


Figura 1. Esquema general de **ESSIM-DE(lr)**. **DE** Evolución Diferencial, M: *Master*, Mon*: Monitor*, W: *Worker*, **EO**: Etapa de Optimización, **EE**: Etapa Estadística, **Kign(t)**: Valor clave de ignición del instante t, **EC**: Etapa de Calibración, **EP**: Etapa de Predicción, **OR**: Operador de Reinicio poblacional.

Una vez que se obtuvo la predicción para el paso de simulación considerado, ESSIM-DE(lr) avanza hacia el siguiente paso de predicción. Es importante destacar que ESSIM-DE(lr) cuenta con un operador denominado **reinicio poblacional**, representado en la Figura 1 por la etapa **OR**. Este operador previene el estancamiento global de DE, al generar un nuevo espacio de soluciones independientes de las anteriores al inicio de cada paso de simulación. Por lo tanto, el proceso de predicción comienza con una población

completamente distribuida al inicio de cada instante de tiempo en los cuales se divide la duración del incendio total.

Sintonización dinámica en ESSIM-DE(lr)

El proceso ***Master*** de cada isla es el que determina el fin de la Etapa de Optimización de la población de su isla, es decir, es quien decide cuándo la población frena su evolución para continuar con las siguientes etapas del proceso de predicción. En ESSIM-DE(lr) la condición de fin del ciclo evolutivo (también denominado límite de iteraciones) tiene una doble influencia en el proceso de optimización, puesto que limita la cantidad de generaciones evolutivas por las cuales evolucionará cada población, y en consecuencia, determina el tiempo de ejecución del proceso evolutivo. Por lo tanto, hemos incorporado el proceso de sintonización dinámica aplicado al límite de iteraciones evolutivas.

En la definición del proceso de sintonización hemos considerado dos posibles problemas asociados al proceso evolutivo de ESSIM-DE(lr): la convergencia prematura y el estancamiento. La convergencia prematura es la situación en la cual la población converge a un óptimo local, debido a la pérdida de diversidad. Por su parte, el estancamiento es la situación en la cual el optimizador no es capaz de generar nunca más una nueva solución mejor que la anterior, aun cuando la población no hubiese convergido. Esto significa que, aun cuando la población presente cierta diversidad, el optimizador es incapaz de encontrar mejores soluciones (Lampinen y Zelinka, 2000). El problema del estancamiento de la población depende de los movimientos efectivos del optimizador Evolución Diferencial. Cuando se genera un nuevo individuo se produce un movimiento en el espacio de búsqueda que representan los individuos de la población. Este movimiento se considera efectivo si el nuevo individuo generado posee mejor valor de aptitud respecto de su antecesor. De todos los posibles movimientos que se realizan en la población, algunos son efectivos, mientras que otros no lo son, y por lo tanto estos últimos implican un esfuerzo computacional en vano. Para abordar dichos problemas se

propuso cuantificar dos métricas diferentes para la población. Las métricas son:

• Movimientos efectivos (métrica ME): cuantifica el porcentaje de individuos que luego de un ciclo evolutivo han sido mejorados (mejor valor de aptitud que el de su predecesor).

• Diversidad poblacional (métrica IQR): cuantifica la dispersión de la población, es decir, la variabilidad de la distribución de la población. Para ello, se computa el Rango Intercuartil de los valores de aptitud de los individuos (Healey, 2007)

La métrica IQR permite cuantificar la distribución de la población en base a la medición de la dispersión de los valores de aptitud de los individuos, y por lo tanto puede servir como indicador de convergencia. Para detectar estancamiento se incluye la medición de los movimientos efectivos del optimizador a través de la métrica ME. En consecuencia, se puede considerar que la población está estancada y/o converge a un óptimo local si se cumple la condición de la expresión (3).

$$\text{IQR} <= \textit{umbral_IQR} \wedge \text{ME} <= \textit{umbral_ME} \qquad (2)$$

En caso de que la condición de la expresión (2) se cumpla en alguna isla, se considera que la población debe finalizar el ciclo evolutivo, y se puede proceder con el resto de las etapas de ESSIM-DE(lr). Para ambas métricas, los valores de umbral a establecer serán considerados como porcentaje, de manera tal de utilizar valores ponderados respecto del máximo valor de cada métrica (0<=*umbral_IQR*<=1, 0<=*umbral_ME*<=NP, con NP el tamaño de la población). En ESSIM-DE(lr) los dos valores *umbral_IQR* y *umbral_ME* de la expresión (2) se definen estáticamente con valores que se mantienen fijos durante toda la predicción. El objetivo de este trabajo es presentar una nueva estrategia de sintonización dinámica para la métrica *IQR*, de manera tal que no se requiera utilizar un valor pre-definido y con el fin de ajustar dicho valor de acuerdo al paso de predicción considerado.

El proceso de sintonización se incluye en la Figura 1 con recuadros en líneas de puntos rojos. Los valores de aptitud

son registrados en la **Etapa de Monitorización** y las métricas son computadas en la **Etapa de Análisis** del *Master*. Al finalizar cada iteración, cada *Master* envía las métricas de su isla hacia el proceso *Monitor,* quien realiza una agregación de los valores recibidos en su ***Etapa de Análisis*** y determina si existe alguna isla con tendencia a estancamiento y/o convergencia prematura en la **Etapa de Sintonización**. Si se evalúa como verdadera la expresión (2) con los valores computados de alguna de las islas, el *Monitor* determina que la población ha evolucionado lo suficiente como para frenar la evolución y realizar la predicción, e iniciar con el siguiente paso. Luego, se aplicará el operador de reinicio poblacional (**OR**) para comenzar el proceso evolutivo del siguiente paso con una nueva población (nuevo espacio de búsqueda).

Nueva Estrategia de Sintonización Dinámica

Como ha sido mencionado, en ESSIM-DE(Ir) se utiliza un valor de *umbral_IQR* pre-fijado como parámetro de la ejecución. Esta definición constituye un criterio general que no permite considerar las características particulares del caso de quema considerado y del contexto de ejecución. Para ejemplificar se incluyen tres gráficos diferentes en la Figura 2, con los valores que adquiere la métrica *IQR* a lo largo de las iteraciones evolutivas. Cada gráfico corresponde a un caso de quema particular, e incluye la tendencia de tres semillas diferentes (s1, s2 y s3). El eje *y* representa el valor de *IQR* registrado, y el eje *x* la iteración en la que fue computado. Se puede observar que en el caso I los valores de *IQR* comienzan a ser crecientes y luego decrecen. En el caso II los valores son decrecientes, mientras que en el caso III es fluctuante hasta converger. Dado que la distribución de los valores de aptitud de la población está influenciada por múltiples factores (la velocidad de convergencia del método, el factor de mutación, la probabilidad de cruzamiento, la cantidad de individuos que participan en la migración, etc.), es posible notar en la Figura 2 que la forma de las gráficas de los valores de *IQR* es diferente de un caso de quema a otro.

También es posible notar de las gráficas que en cada caso se requiere diferente cantidad de iteraciones para lograr un valor de *umbral_IQR*, por ejemplo, si fijamos un determinado valor en el eje *y* como *umbral_IQR,* sea 0.05, en el caso I se alcanza dicho umbral con 12 iteraciones, en el caso II con 8 iteraciones aproximadamente, y en el caso III con 14 iteraciones (para s1). Analizando cada gráfico, también es posible notar que con distintas semillas se obtienen líneas de gráfico con formas similares en cada caso de quema. Todos estos argumentos indican que la variación de las distribuciones de los valores de aptitud de los individuos a lo

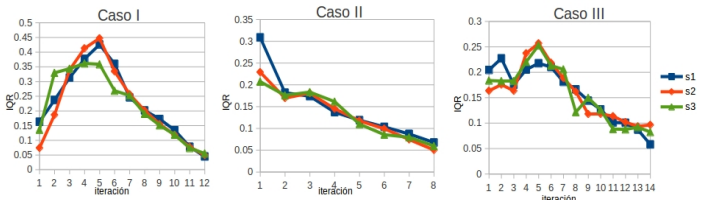


Figura 2. Ejemplo de variación de IQR durante el proceso evolutivo para tres casos de quemas (I, II y III), con diferentes semillas.

largo del proceso evolutivo es particular de cada caso de quema considerado, independientemente de la semilla utilizada.

Se plantea, entonces, utilizar la información de la dispersión de la población en la sucesión de valores de *IQR* a lo largo de las generaciones evolutivas. La idea es detectar que la población se encuentre en un estado con tendencia al estancamiento y/o convergencia, haciendo uso de la historia de las distribuciones. Para ello, se propuso registrar el mínimo valor de *IQR* obtenido, actualizando dicho valor en cada iteración, y compararlo respecto del valor actual de *IQR* en la iteración corriente. En la Figura 3 se ejemplifica la idea con

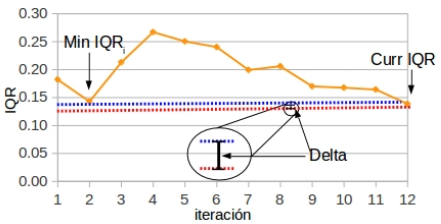


Figura 3. Ejemplo de cómputo de los valores *Delta*.

dos gráficos. El ejemplo 1 incluye la línea que describe los valores adquiridos por la métrica *IQR*, obtenidos de una semilla del caso II. El ejemplo 2 utiliza una de las líneas generada con una semilla del caso III. En cada gráfica se señala el mínimo valor *IQR* registrado y el valor de *IQR* corriente. Si la diferencia entre ambos, denominada ***Delta**,* es muy pequeña, entonces la población ha logrado una distribución muy similar en alguna de las iteraciones anteriores. Siendo *Curr_IQR* el valor IQR de la iteración corriente, y *Min_IQR* el mínimo registrado, *y sea Delta = (Min_IQR – Curr_IQR)* se define la expresión (3) utilizando como límite superior de la diferencia *Delta* un valor pequeño *umbral_DELTA.*

$$Delta <= umbral_DELTA \qquad (3)$$

Debemos garantizar en la expresión (3) que la tendencia sea decreciente, puesto que la diferencia entre el mínimo *IQR* obtenido y cualquier *IQR* sucesor puede darse en una etapa inicial o intermedia del proceso evolutivo, en la cual la tendencia de las distribuciones es creciente (como es en el ejemplo II, en las iteraciones 2-4). En estos casos, el optimizador estará en una etapa inicial del proceso evolutivo. Por lo tanto, es necesario garantizar que exista una tendencia decreciente, verificando que el valor de *Delta* sea menor o igual a cero, como lo indica la expresión (4).

$$Delta <= umbral_DELTA \ \&\& \ Delta >= 0 \qquad (4)$$

Para completar el criterio de sintonización, es necesario considerar el valor de la métrica *ME*, la cual es requerida para analizar si el optimizador aún cuenta con movimientos efectivos a realizar sobre el espacio de búsqueda, como lo indica la expresión (5).

$$Delta <= umbral_DELTA \ \&\& \ Delta >= 0 \ \&\& \ ME < umbral_ME \qquad (5)$$

La expresión (5) es computada en cada iteración, de acuerdo con la distribución actual de la población, en la generación corriente, para cada mapa de quema y condiciones particulares de la ejecución. La condición de la expresión (5) verifica la tendencia de los valores de dispersión de la

población. A diferencia del uso de un valor de *umbral_IQR* fijo, esta propuesta permite realizar una sintonización independientemente de los valores que adquiera la métrica *IQR*, considerando el progreso del proceso evolutivo y, por lo tanto, ajustando el criterio de finalización en base a las características particulares de cada población. Esta propuesta pretende mejorar los tiempos de ejecución, puesto que la condición utilizada como criterio de corte es una propiedad específica de cada población, lo que permite evitar aquellos ciclos innecesarios que antes eran requeridos para alcanzar el umbral de IQR fijo. Utilizaremos la nomenclatura ESSIM-DE(ldr) para indicar la incorporación de la nueva propuesta que analiza las tendencias de **distribuciones (d)**.

Resultados obtenidos

Para validar la propuesta se han utilizado dos casos reales de estudio correspondientes a incendios controlados realizados en diferentes terrenos de Serra de Lousã, Gestosa, Portugal, todos pertenecientes al proyecto SPREAD (Viegas, 2004). Cada caso posee una duración expresada en minutos, una pendiente en grados y una superficie específica en metros cuadrados. Los dos casos de quema considerados se describen en la Tabla 1. Para cada uno de ellos se computaron los valores de *fitness* y de tiempos, para un promedio de 10 semillas. Los experimentos fueron realizados utilizando un total de 41 unidades de procesamiento Intel Q9550 2.83GHz, con memoria RAM de 4GB DDR3 1333Mz. El valor del parámetro utilizado en ESSIM-DE(lr) fue establecido en base a experimentación previa realizada como proceso de calibración estática, en donde se utilizaron diferentes combinaciones de valores para *umbral_IQR*. En dicha experimentación resultó seleccionado como valor del parámetro *umbral_IQR*=5%, teniendo como criterio un compromiso entre calidad de predicción y tiempo de respuesta. El valor del parámetro *umbral_DELTA* para ESSIM-DE(lar) es establecido en este trabajo como valor de referencia al 1%. El resto de los parámetros requeridos fueron establecidos en base a experimentación previa con ESSIM-DE(lr) y se detallan en la Tabla 2.

Los resultados obtenidos son presentados en la Figura 4, en la cual se incluyen dos gráficos representando los resultados obtenidos en la experimentación con los casos A y B de la Tabla 1. En cada gráfico se incluyen los valores de *fitness* promedio obtenidos por ESSIM-DE(lr) y por la nueva propuesta ESSIM-DE(ldr), para cada paso de predicción. La Tabla 3 incluye los tiempos de ejecución promedio obtenidos.

Tabla 1. Casos de quema: dimensión, pendiente y tiempo de inicio, fin e incremento.

Caso	Ancho (m)	Alto (m)	Pend. (gr)	T. inicial (min)	T. final (min)	Incr.(min)
A	89	109	21	2.0	14.0	2.0
B	89	91	21	2.5	12.5	2.5

Tabla 2. Configuración de los parámetros utilizados en la experimentación.

Parámetro	Valor
Tamaño de la población	200 individuos
Porcentaje de individuos en migración	20%
Frecuencia de migración	1 iteración
Estrategia de DE	DE/best/1/bin
Probabilidad de Cruzamiento	0.45
Factor de mutación	0.9
Cantidad de islas	5
Cantidad de *workers* por isla	7

El Experimento A cuenta con cuatro pasos de predicción. Se puede observar que ESSIM-DE(ldr) obtiene valores de *fitness* similares a ESSIM-DE(lr) en los pasos 1 y 3, mientras que ESSIM-DE(lr) obtiene valores ligeramente superiores en el paso 2 y 4. Sin embargo, ESSIM-DE(ldr) obtiene una reducción de un 29% aproximadamente en los tiempos de cómputo. Esto se debe a que el nuevo criterio de sintonización

detecta anticipadamente la tendencia al estancamiento y/o convergencia, de acuerdo con las características de la población en cada iteración, por lo tanto, se reducen los tiempos de ejecución del proceso de optimización y, por ende, de la simulación total. El Experimento B cuenta con tres pasos de predicción. Es posible notar que los resultados son similares a los obtenidos en el Experimento A, en este caso la nueva propuesta logra una reducción de los tiempos de cómputo promedio en un 33% aproximadamente.

Tabla 3. Tiempos de ejecución (segundos) en promedio.

	ESSIM-DE(Ir)	ESSIM-DE(Idr)	Red.		ESSIM-DE(Ir)	ESSIM-DE(Idr)	Red.
A	1790	1265	29%	B	734	485	33%

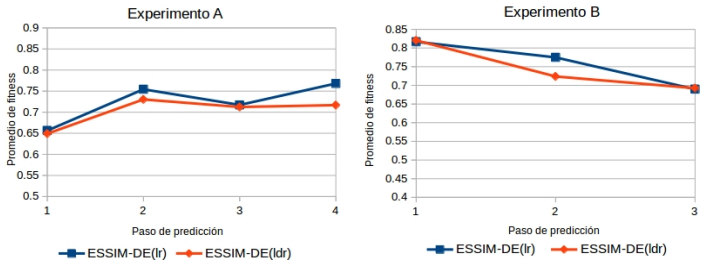


Figura 4. Promedios de fitness para cada experimento.

Los resultados obtenidos demuestran que la nueva propuesta de sintonización con monitorización de la tendencia de las distribuciones es efectiva, logrando calidad de predicciones similares a la utilización de una estrategia con valores fijos en la métrica IQR, pero a un costo computacional menor. En los métodos de predicción como ESSIM-DE, estas reducciones resultan significativas para que las predicciones puedan ser obtenidas a más corto plazo, con anticipación a la propagación del frente de fuego.

Conclusiones

En este trabajo aplicó el operador de reinicio de poblaciones en conjunto con un nuevo criterio de sintonización dinámica al método ESSIM-DE. La nueva propuesta, con nomenclatura ESSIM-DE(ldr), permite considerar las características particulares de cada caso de quema, gracias a la detección del estancamiento y/o convergencia de las poblaciones en base al análisis de una tendencia decreciente de los valores de dispersión. Los resultados indican que la nueva propuesta logra calidad de predicciones similares al criterio previo, con un tiempo de ejecución menor. Las reducciones de tiempo están asociadas a una detección anticipada del fin del ciclo evolutivo, de acuerdo con las características particulares de cada caso. Como trabajo a futuro se propone calibrar estáticamente el valor definido para el nuevo parámetro *Delta*, de manera tal de estudiar la sensibilidad del método a este parámetro y con el fin de definir un criterio auto-adaptable para dicho valor.

Referencias

Healey, J. F. (2007) *The Essentials of Statistics: A Tool for Social Research*, Thomson/Wadsworth.

Lampinen, J. y Zelinka, I. (2000), "On the Stagnation of the Differential Evolution algorithm", *I.C. Soft Computing*, pp. 76-83.

Mendez Garabetti, M. Bianchini, G., Caymes Scutari, P., Tardivo M.L. (2016). "Increase in the quality of the prediction of a computational wildfire behavior method through the improvement of the internal metaheuristic", Fire Safety Journal, pp. 49-62. Elsevier.

Naono, K., Teranishi, K., Cavazos, J. y Suda, R. (2010) *Software Automatic Tuning: From Concepts to State-of-the-Art Results*, Springer, New York.

Tardivo, M.L., Caymes-Scutari,P., Méndez-Garabetti, M. y Bianchini, G. (2017) "Optimization for an Uncertainty Reduction Method Applied to Forest Fires Spread Prediction", Computer Science – Cacic 2017, pp. 13-23. Springer.

Viegas, D. X. (2004). Project Spread – Forest Fire Spread Prevention and Mitigation, http://www.algosystems.gr/spread/. Accedido el 10 de Julio de 2018.

* * *

29

Obtención de los Pares de Torsión en Manipuladores Robóticos Industriales en el Marco de un Proceso por Etapas

Emanuel Maximiliano Alveal, Alejandro A. Hossian

Resumen: Se utiliza el método analítico como herramienta para desarrollar modelos matemáticos de sistemas mecánicos dentro de las ciencias exactas. Entonces, el "Modelo Dinámico" de un manipulador robótico, determina la relación entre el movimiento producido en el sistema y los pares/fuerzas aplicados por los actuadores en las articulaciones del mismo. El modelo dinámico vincula matemáticamente los siguientes aspectos: I. La posición del robot definida por sus variables articulares y sus derivadas (velocidad y aceleración). II. Los parámetros dimensionales del robot (longitudes, masas e inercia de sus elementos). III. Los pares y fuerzas aplicados en las articulaciones del robot para que su extremo realice una determinada trayectoria. El presente artículo se organiza en dos fases con los siguientes objetivos: A. Se plantea un proceso de obtención del modelo dinámico para un manipulador robótico, de dos grados de libertad, basado en la implementación de las "Ecuaciones de Lagrange", que describen el modelo dinámico de un manipulador, por medio del balance de la energía cinética y potencial de sus eslabones. Este modelo, permite estudiar los fenómenos físicos presentes, en su estructura mecánica para su evaluación y correcto diseño, tales como: "Efectos Inerciales" – "Fuerzas Centrípetas y de Coriolis" – "Par Gravitacional" y "Fricción". B. El modelo matemático obtenido, se expresa mediante una serie de ecuaciones diferenciales de 2do orden compleja, multivariable, con dinámica fuertemente acoplada, y "no lineal" en el vector de estados. En esta fase se proponen trayectorias articulares ($\Theta(t)$), y por consiguiente $\Theta'(t)$ y $\Theta''(t)$, con idea de obtener los pares y las fuerzas que deben aplicar los actuadores de las articulaciones para lograr estas trayectorias. Un correcto modelo dinámico, que tiene en cuenta los efectos de acoplamiento, exige la implementación de un sistema de control apropiado, que custodie la diferencia entre las trayectorias obtenidas y las deseadas que tiendan asintóticamente a cero.

Palabras Clave: Modelo dinámico, ecuaciones de Lagrange, trayectorias articulares, pares y fuerzas.

1. Introducción

Los manipuladores robóticos están formados por articulaciones, sean rotacionales o prismáticos, donde se producen pares de fuerzas entre los eslabones conectados[1]. Si se desea acelerar un manipulador desde una posición inicial, deslizándolo a una velocidad constante del extremo para finalmente desacelerarlo hasta detenerlo por completo, los actuadores deben aplicar un conjunto de funciones de momento de torsión [2]. En la figura 1 se ilustra la relación entre los momentos de torsión τ, las variables articulares Θ y la trayectoria (T) que desarrolla el órgano terminal del robot desde un punto A hasta el B.

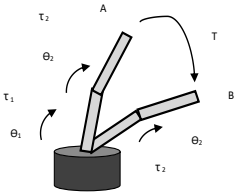


Figura 1: Relación entre los momentos de torsión τ, las variables articulares Θ y la trayectoria (T) que desarrolla el órgano terminal del robot desde un punto A hasta el B

El modelo dinámico permite explicar fenómenos intrínsecos de la naturaleza dinámica del robot [3]. La identificación del modelo dinámico, sobre todo para dispositivos robóticos de más de 2 gdl, es considerada una tarea de alta complejidad [4].

2. Objetivos

El presente trabajo consiste en la implementación de un modelo de proceso de investigación en base a tres fases: una primera fase corresponde a la Cinemática del Robot; una segunda fase se corresponde con la Dinámica del Robot; y una tercera fase vinculada a los aspectos que hacen al Control del robot.

El problema que se estudia se encuadra dentro de la segunda fase del modelo, correspondiente a la Dinámica del Robot, cuyo

objetivo es la obtención de su Modelo Dinámico, que establece la vinculación matemática entre los siguientes elementos:

I.La posición del robot definida por sus variables articulares y sus derivadas (velocidad y aceleración).

II.Los parámetros dimensionales del robot (longitudes, masas e inercia de sus elementos).

III.Los pares y fuerzas aplicados en las articulaciones del robot para que su extremo realice una determinada trayectoria [5].

El análisis de la dinámica del robot puede abordarse en base a dos enfoques:

A. Modelo Dinámico Directo: se basa en obtener la evolución temporal de las variables articulares ($\Theta(t)$, $\Theta'(t)$ y $\Theta''(t)$), bajo la aplicación de un vector de fuerzas y momentos de torsión aplicados en los actuadores de las articulaciones. Es decir, obtener $\Theta(t) = f(\tau(t))$ y sus derivadas. Esta formulación del problema dinámico, tiene especial valor en el análisis de la simulación del robot [6].

B. Modelo Dinámico Inverso: se basa en obtener la evolución temporal de las fuerzas y momentos de torsión que se aplican en los actuadores de las articulaciones, para conseguir una determinada evolución temporal de las variables articulares ($\Theta(t)$, $\Theta'(t)$ y $\Theta''(t)$. Es decir, obtener $\tau(t) = f(\Theta(t), \Theta'(t), \Theta''(t))$. Un correcto desarrollo del modelo dinámico inverso repercute directamente en el problema del control del manipulador.

Se propone un método de obtención del modelo dinámico inverso de un robot manipulador de 2 gdl, en base a las “Ecuaciones de Lagrange”. Por medio de esta herramienta, es posible describir la dinámica a través del balance de la energía cinética y potencial presentes en sus eslabones. En una segunda instancia, y a partir del modelo dinámico obtenido, se proponen trayectorias articulares ($\Theta(t)$), y por consiguiente $\Theta'(t)$ y $\Theta''(t)$, con idea de obtener los pares de torsión que se deben aplicar en los actuadores de las articulaciones para alcanzar estas trayectorias.

El modelo de proceso de investigación y desarrollo con sus tres fases (Cinemática del Robot, Dinámica del Robot y Control del Robot) que ilustra este segundo objetivo central, se detalla en la figura 2.

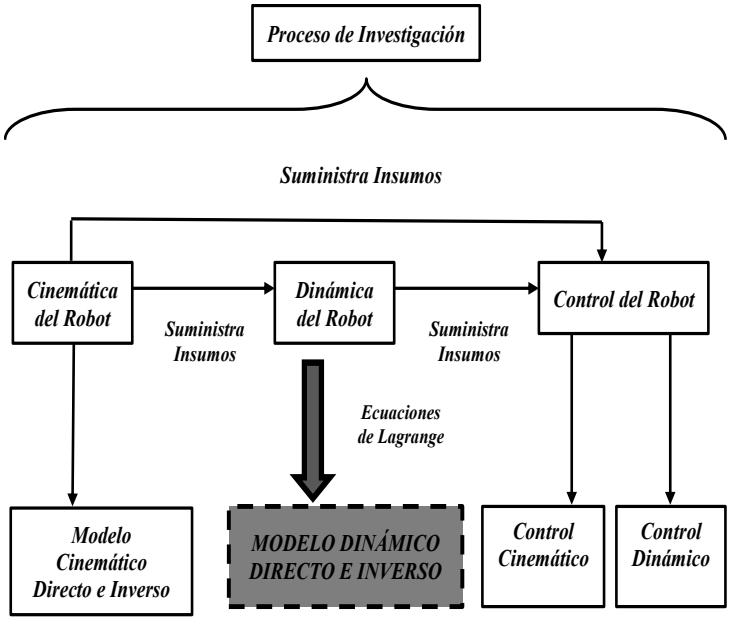


Figura 2: Modelo de Proceso de Investigación y Desarrollo

Se observa que la fase de cinemática del robot genera referencias a las fases de dinámica y control del robot [7] y, la fase de dinámica suministra insumos a la fase de control, para la realización del control dinámico [8].

3. Descripción del problema propuesto

En la figura 3 se exhibe un esquema global con la entrada y la salida al módulo de construcción del modelo dinámico directo e inverso para la implementación de este proceso de obtención del modelo dinámico, teniendo consideración, que en primer término se obtiene el vector τ en forma general conforme a la

configuración del robot de que se trate, para luego hallar el vector τ para las trayectorias articulares propuestas.

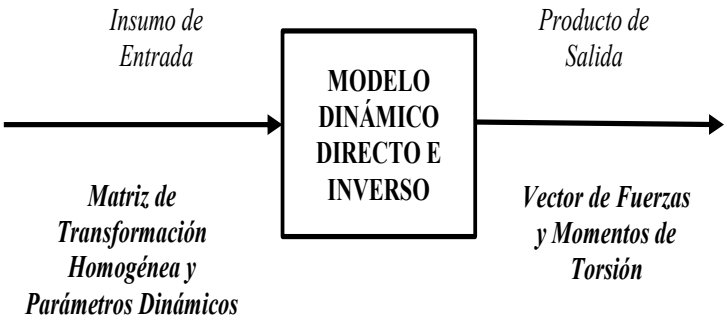


Figura 3: Insumo de entrada y Producto de salida al Módulo Dinámico Directo e Inverso para la implementación del proceso de obtención del modelo dinámico

3.1. Aspectos fundamentales del Modelo Dinámico de un Robot Manipulador

La descripción matemática del modelo dinámico de un robot manipulador de n grados de libertad, está dada por la ecuación diferencial no lineal 1:

$$\tau(t) = M(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + G(q) + F_f(\dot{q}, f_e) \quad 1)$$

Donde $\tau(t)$ es el vector de fuerzas o pares que se aplica a cada articulación, q ϵ Rn es el vector de posiciones articulares o coordenadas generalizadas, v$\dot{q} \in R^n$ es el vector de velocidades articulares, $\ddot{q} \in R^n$ es el vector de aceleraciones articulares, $M(q) \in R^{nxn}$ es la matriz de inercia (representa el cambio de estado de movimiento del robot), $C(q,\dot{q}) \in R^{nxn}$ es la matriz de fuerzas centrípetas y de Coriolis (esta fuerza representa la desviación del movimiento de traslación a raíz de su componente de rotación [9] y, al igual que la matriz M(q), también es vital en el estudio de la estabilidad del sistema de control del robot [10]), G(q) ϵ Rn es el vector de pares y

$F_f(\dot{q}, f_e) \in R^n$ es el vector de pares de fricción de cada articulación del manipulador.

Propiedades del Modelo Dinámico

El modelo dinámico posee algunas propiedades que son de gran importancia para el estudio de los sistemas de control de robots manipuladores:

- *Efectos inerciales*: este efecto está representado por la matriz de inercia $M(q)\ddot{q}$, cuyo principal significado se manifiesta en el cambio de estado de movimiento del robot. A su vez, la matriz M(q)nxn (siendo n los grados de libertad del robot) es una matriz simétrica $M(q) = M(q)^T$, definida positiva M(q) > 0 y, por lo tanto, que admite inversa ($\exists M(q)^{-1}$).

- *Fuerzas Centrípetas y de Coriolis:* Esta matriz de fuerzas centrípetas y de Coriolis ($C(q,\dot{q})_{nxn}$) depende de q y $\dot{q}$ y puede no ser única; pero el vector $C(q,\dot{q})_{nxn} * \dot{q}_{nx1}$ si lo es.

- *Efecto gravitacional*: el vector de pares gravitacionales G(q) depende de las variables articulares qi y contiene todos los términos donde aparece la constante gravitacional "g".

- *Efecto de fricción*: este fenómeno posee el efecto físico de oponerse al movimiento del robot. Un modelo clásico de fricción es el que combina la fricción viscosa y la de Coulomb, el cual depende de la velocidad de la variable articular y está dado por el vector $F_f(\dot{q}) = f_{m1}\dot{q} + f_{m2}\, sign(\dot{q})$. Donde fm1 y fm2 son matrices diagonales definidas positivas. Los elementos de la diagonal de fm1 son los parámetros de la fricción viscosa, y los de fm2 son los de la fricción de Coulomb.

3.2. Aspectos fundamentales de la Formulación Lagrangiana

Para realizar la formulación Lagrangiana, es preciso contar con las expresiones de la cinemática directa del manipulador, lo que brinda la posibilidad de llevar a cabo cuatro procedimientos de cálculo: cálculo de la energía cinética ($\mathrm{K}(q(t), \dot{q}(t))$), B) cálculo

de la energía potencial ($U(q(t))$), C) cálculo del Lagrangiano ($L = \mathrm{K}(q(t), \dot{q}(t)) - U(q(t))$) y D) formulación de las ecuaciones escalares dinámicas de movimiento de Lagrange para un robot manipulador de n grados de libertad (gdl); las cuales se desarrollan para cada uno de ellos (expresión 2), y donde el miembro $\tau - F_f(\dot{q}, f_e)$ se refiere a fuerzas o pares no conservativos en cada articulación.

$$\frac{d}{dt}\left[\frac{\partial L(q,\dot{q})}{\partial \dot{q}_i}\right] - \frac{\partial L(q,\dot{q})}{\partial q_i} = \tau - F_f(\dot{q}, f_e) \quad i = 1,2,\ldots n \qquad 2)$$

4. Proceso de obtención del modelo dinámico de un robot manipulador en base a la formulación de las ecuaciones de Lagrange

Se tiene como "insumos de entrada" los parámetros dinámicos de la matriz de transformación homogénea suministrada por el modelo cinemático directo, la cual posee toda la información referida a la posición y orientación cartesiana del extremo final del manipulador. Provee como "producto de salida" las fuerzas y pares de torsión que se deben aplicar en cada articulación. Con base a lo propuesto en el esquema de figura 3, en la figura 4 se exhibe el núcleo de aplicación del proceso; el cual se conforma de tres etapas que se desarrollan en forma interconectada, a los efectos de obtener las correspondientes fuerzas y pares de torsión. La primera etapa se focaliza en realizar la "Formulación Lagrangiana" mediante los cuatro procedimientos citados en el epígrafe 3.3. La segunda etapa consiste en la obtención de los pares de torsión $\tau = \tau(q(t), \dot{q}(t), \ddot{q}(t))$ en forma matricial (obtención del modelo dinámico inverso). Obtenido este modelo, para llevar a cabo la tercera etapa se necesita contar con trayectorias articulares a tal efecto $(q(t), \dot{q}(t), \ddot{q}(t))$.

5. Caso de estudio

Como lo muestra la figura 5, los insumos de entrada corresponden a los parámetros dinámicos del robot y su matriz

de transformación homogénea respecto al sistema de referencia asociado a la base del robot. Sus parámetros dinámicos son: longitudes de eslabones (l1 y l2), masas de eslabones (m1 y m2), las distancias entre los centros de masas (CM) y los ejes de giro (lc1 y lc2) y los momentos de inercia de cada eslabón con respecto al eje que pasa por su centro de masa (J1 e J2).

La matriz de transformación homogénea es:

$$
{}^{0}T_2 = \begin{bmatrix} c_{12} & -s_{12} & 0 & l_1 c_1 + l_2 c_{12} \\ s_{12} & c_{12} & 0 & l_1 s_1 + l_2 s_{12} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

En la matriz, la última columna indica las componentes (x, y) del vector posición del extremo del robot, respecto al sistema de referencia asociado a la base $S_0(X_0, Y_0)$.

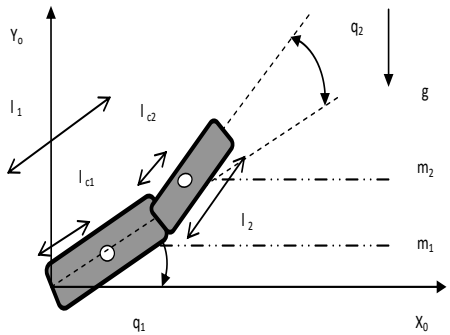


Figura 4: Robot planar de dos grados de libertad

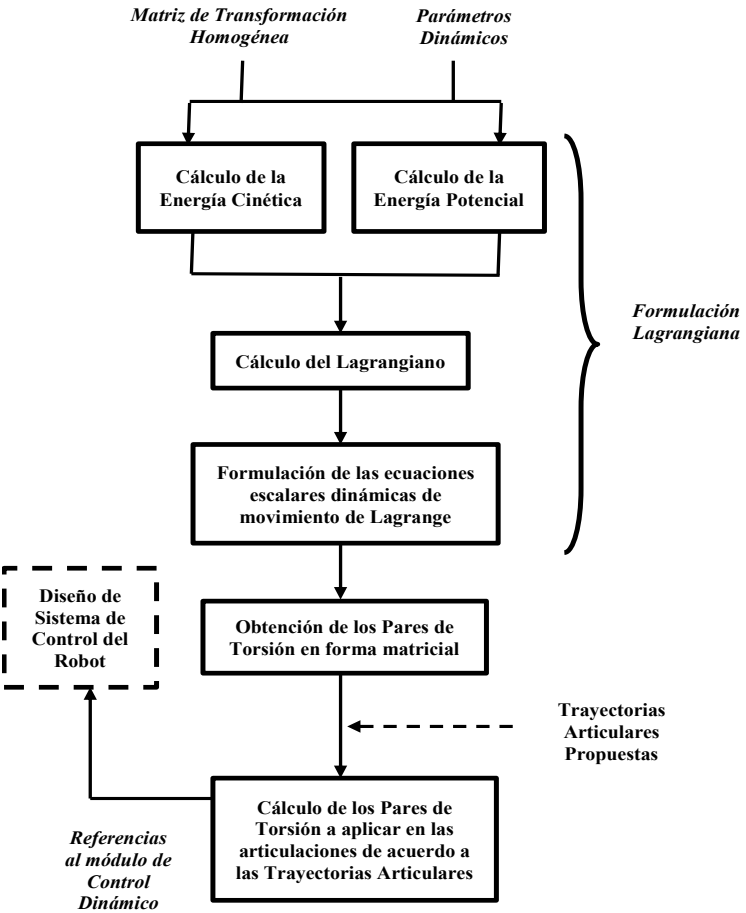


Figura 5: Proceso de obtención de los pares de torsión en las articulaciones de robots manipuladores en el marco del módulo de Modelo Dinámico Directo e Inverso

Primera Etapa: *Formulación Lagrangiana.*

Por medio de la aplicación de los cuatro procedimientos (A, B, C y D) citados en el epígrafe 3.3, se obtienen las ecuaciones escalares dinámicas de movimiento de Lagrange.

A) Cálculo de la Energía Cinética ($K(q(t),\dot{q}(t))$): la energía cinética total del robot es la suma de la energía almacenada en cada eslabón ($K_{Total} = K_1 + K_2$), para cada uno, la contribución a la energía cinética total está dada por la porción de energía que aporta la velocidad de traslación del centro de masa, más la aportada por la velocidad de rotación en torno al CM. De la cinemática diferencial se obtiene las coordenadas y velocidades del CM de cada eslabón. Para el eslabón 1: $x_1 = l_{c1}C_1$, $y_1 = l_{c1}S_1$, luego:

B) $v_1 = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{y}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{c1}C_1\dot{q}_1 \\ l_{c1}S_1\dot{q}_1 \end{bmatrix}$, siendo el cuadrado de la velocidad del CM_1 es $v_1^T v_1 = \begin{bmatrix} l_{c1}C_1\dot{q}_1 & l_{c1}S_1\dot{q}_1 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} l_{c1}C_1\dot{q}_1 \\ l_{c1}S_1\dot{q}_1 \end{bmatrix} = l_{c1}^2\dot{q}_1^2$. La energía cinética total del eslabón 1 (K_1) se calcula sumando las contribuciones de la energía cinética de traslación (K_{1T}) y de rotación (K_{1R}). Por lo tanto, la energía cinética del eslabón 1 se calcula:

$$K_1(q,\dot{q}) = K_{1T} + K_{1R} = \frac{1}{2}m_1 v_1^T v_1 + \frac{1}{2}J_1\dot{q}_1^2 \quad 3)$$
$$= \frac{1}{2}m_1 l_{c1}^2\dot{q}_1^2 + \frac{1}{2}J_1\dot{q}_1^2$$

Para el eslabón 2 se tiene: $x_2 = l_1C_1 + l_{c2}C_{12}$, $y_2 = l_1S_1 + l_{c2}S_{12}$. Derivando respecto al tiempo, efectuando $v_2^T v_2$, y considerando que el efecto de la energía cinética rotacional está dado por la suma de las velocidades $(\dot{q}_1 + \dot{q}_2)$, la energía cinética total del eslabón 2 (K_2) se calcula sumando las contribuciones de la energía cinética de traslación (K_{2T}) y de rotación (K_{2R}). Por lo tanto, la energía cinética del eslabón 2 se calcula:

$$K_2(q,\dot{q}) = K_{2T} + K_{2R} = \frac{1}{2}m_2 v_2^T v_2 + \frac{1}{2}J_2(\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2$$

Desarrollando esta expresión:

$$K_2(q,\dot{q}) = \frac{m_2}{2} l_1^2 \dot{q}_1^2 + \frac{m_2}{2} l_{c2}^2 \left(\dot{q}_1^2 + 2\dot{q}_1 \dot{q}_2 + \dot{q}_2^2 \right) + \quad 4)$$

$$m_2 l_1 l_{c2} \left(\dot{q}_1^2 + \dot{q}_1 \dot{q}_2 \right) C_2 + \frac{1}{2} J_2 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2$$

La energía cinética total del robot reemplazando 3) y 4) en $K_{Total} = K_1 + K_2$ obteniéndose:

$$K_{Total}(q,\dot{q}) = \frac{1}{2} m_1 l_{c1}^2 \dot{q}_1^2 + \frac{1}{2} J_1 \dot{q}_1^2 +$$

$$\frac{m_2}{2} l_1^2 \dot{q}_1^2 + \frac{m_2}{2} l_{c2}^2 \left(\dot{q}_1^2 + 2\dot{q}_1 \dot{q}_2 + \dot{q}_2^2 \right) + \quad 5)$$

$$m_2 l_1 l_{c2} \left(\dot{q}_1^2 + \dot{q}_1 \dot{q}_2 \right) C_2 + \frac{1}{2} J_2 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2$$

C) Cálculo de la Energía Potencial ($U(q(t))$): la energía potencial total del robot es la suma de la energía almacenada en cada eslabón ($U_{Total} = U_1 + U_2 = m_1 g l_{c1} S_1 + m_{2g} (l_1 S_1 + l_{c2} S_{12})$ 6).

D) Cálculo del Lagrangiano ($L = K_{Total}(q(t),\dot{q}(t)) - U_{Total}(q(t))$ 7): la forma de calcular el lagrangiano del robot manipulador es realizando la diferencia entre la energía cinética total y la energía potencial gravitatoria total. Por consiguiente, sustituyendo 5) – 6) en 7) se tiene:

$$L(q,\dot{q}) = \frac{1}{2} m_1 l_{c1}^2 \dot{q}_1^2 + \frac{1}{2} J_1 \dot{q}_1^2 +$$

$$\frac{m_2}{2} l_1^2 \dot{q}_1^2 + \frac{m_2}{2} l_{c2}^2 \left(\dot{q}_1^2 + 2\dot{q}_1 \dot{q}_2 + \dot{q}_2^2 \right) + \quad 7)$$

$$m_2 l_1 l_{c2} \left(\dot{q}_1^2 + \dot{q}_1 \dot{q}_2 \right) C_2 + \frac{1}{2} J_2 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2$$

$$- m_1 g l_{c1} S_1 - m_2 g (l_1 S_1 + l_{c2} S_{12})$$

E) Formulación de las ecuaciones escalares dinámicas de movimiento de Lagrange, aplicando la ecuación 2) para cada (gdl) del robot, o cada coordenada generalizada q_1 y q_2):

$$\frac{d}{dt}\left[\frac{\partial L(q,\dot{q})}{\partial \dot{q}_i}\right]-\frac{\partial L(q,\dot{q})}{\partial q_i}=\tau-F_f(\dot{q},f_e)\quad i=1,2,\ldots n \qquad 2)$$

Se obtienen las cuatro expresiones (8, 9, 10 y 11) derivando L respecto a la posición y velocidad articular de cada coordenada generalizada:

$$\frac{d}{dt}\left[\frac{\partial L(q,\dot{q})}{\partial \dot{q}_1}\right]=\left[m_1 l_{c1}^2+J_1+J_2+m_2\left(l_1^2+l_{c2}^2+2l_1 l_{c2}C_2\right)\right]$$

$$\ddot{q}_1-\left[m_2 l_{c2}(l_1 C_2+l_{c2})+J_2\right]\ddot{q}_2-\left[2m_2 l_1 l_{c2}S_2\right] \qquad 8)$$

$$\dot{q}_1\dot{q}_2-\left[m_2 l_1 l_{c2}S_2\right]\dot{q}_2^{\,2}$$

$$\frac{d}{dt}\left[\frac{\partial L(q,\dot{q})}{\partial \dot{q}_2}\right]=\left[m_2 l_{c2}^2+J_2\right]\ddot{q}_2+ \qquad 9)$$

$$\left[m_2 l_{c2}(l_1 C_2+l_{c2})+J_2\right]\ddot{q}_1-\left[m_2 l_1 l_{c2}S_2\right]\dot{q}_1\dot{q}_2$$

$$\frac{\partial L(q,\dot{q})}{\partial q_1}=-g\left[(m_1 l_{c1}+m_2 l_1)C_1+m_2 l_{c2}C_{12}\right] \qquad 10)$$

$$\frac{\partial L(q,\dot{q})}{\partial q_2}=-\left[m_2 l_1 l_{c2}S_2\right]\dot{q}_1^2-\left[m_2 l_1 l_{c2}S_2\right] \qquad 11)$$

$$\dot{q}_1\dot{q}_2-g m_2 l_{c2}C_{12}$$

Segunda Etapa: *Obtención de los pares de torsión en forma matricial.*

Se aplica la ecuación 2) para las coordenadas articulares 1 y 2, obteniéndose el par 1 y 2. Para obtener estos pares, se opera de esta manera con las ecuaciones (8), (9), (10) y (11):

$$\tau_1=(8)-(10)\quad \&\quad \tau_2=(9)-(11)$$

Estos son los pares de torsión que actúan en las articulaciones 1 y 2; que expresados en forma matricial y donde por simplicidad para el análisis se omiten los momentos de inercia J_1 y J_2, adoptan la forma de la expresión

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 l_{c1}^2 + m_2\left(l_1^2 + l_{c2}^2 + 2 l_1 l_{c2} C_2\right) & m_2 l_{c2}\left(l_1 C_2 + l_{c2}\right) \\ m_2 l_{c2}\left(l_1 C_2 + l_{c2}\right) & \left(m_2 l_{c2}^2\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \end{bmatrix}$$

12:

$$+ \begin{bmatrix} -2 m_2 l_1 l_{c2} S_2 \dot{q}_2 & -m_2 l_1 l_{c2} S_2 \dot{q}_2 \\ m_2 l_1 l_{c2} S_2 \dot{q}_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g\left[\left(m_1 l_{c1} C_1 + m_2\left(l_1 C_1 + l_{c2} C_{12}\right)\right)\right] \\ g m_2 l_{c2} C_{12} \end{bmatrix} \quad 12)$$

Si se efectúa el producto matricial en 12, y se expresa cada par de torsión por separado, se arriba a las expresiones 13 y 14:

$$\tau_1 = \left[m_1 l_{c1}^2 + m_2\left(l_1^2 + l_{c2}^2 + 2 l_1 l_{c2} C_2\right)\right]\ddot{q}_1 + \left[m_2 l_{c2}\left(l_1 C_2 + l_{c2}\right)\right]\ddot{q}_2 - \left(2 m_2 l_1 l_{c2} S_2\right)\dot{q}_1 \dot{q}_2 - \left(m_2 l_1 l_{c2} S_2\right)\dot{q}_2^{\,2} + g\left[\left(m_1 l_{c1} C_1 + m_2\left(l_1 C_1 + l_{c2} C_{12}\right)\right)\right] \quad 13)$$

$$\tau_2 = \left[m_2 l_{c2}\left(l_1 C_2 + l_{c2}\right)\right]\ddot{q}_1 + \left(m_2 l_{c2}^2\right)\ddot{q}_2 + \left(m_2 l_1 l_{c2} S_2\right)\dot{q}_1^{\,2} + g m_2 l_{c2} C_{12} \quad 14)$$

Tercera Etapa: *Cálculo de los pares de torsión a aplicar en las articulaciones de acuerdo a las Trayectorias Articulares*.

Para realizar esta tercera etapa se necesita contar con determinadas trayectorias articulares, como: $(q(t), \dot{q}(t), \ddot{q}(t))$

7. Conclusiones y futuras líneas de trabajo

Conclusiones:

*I)*Se implementa un proceso de obtención del *modelo dinámico inverso* de un robot manipulador en base a la formulación

Lagrangiana y conformado de tres etapas que se desarrollan en forma interconectada.

II)Este proceso se nutre con la *matriz de transformación homogénea y los parámetros dinámicos del robot*, y proporciona como salida las fuerzas y pares de torsión que se deben aplicar en cada articulación, de acuerdo a las trayectorias articulares que se proponen.

III)La formulación de Lagrange tiene la *ventaja* de que no intervienen las fuerzas de ligadura, dado que hace uso de balance de energía.

IV)La formulación de Lagrange tiene la *desventaja* de que el algoritmo es de un orden de complejidad O(n4); es decir, la cantidad de operaciones que realiza crece con la potencia cuarta del número de gdl.

Futuras Líneas de Investigación

A) Análisis de la dinámica de los sistemas de trasmisión y actuadores.

B) Probar el modelo analítico obtenido en banco experimental.

C) Diseño y evaluación del sistema de control dinámico del robot haciendo uso de los pares de torsión obtenidos como entrada al sistema; de esta forma, el algoritmo de control debe llevar en forma asintótica a cero el vector de error de posicionamiento (qerror = qdeseada - qactual).

D) Probar otras trayectorias articulares más complejas y analizar los efectos de acoplamiento de los ejes de las articulaciones.

E) Determinación de los valores de parámetros dinámicos del robot (momentos de inercia, centros de masa y coeficientes de fricción), mediante técnicas de identificación paramétrica.

F) Introducción de fricciones viscosas en las articulaciones, y medir la respuesta del sistema en condiciones similares a los casos experimentales estudiados.

Referencias

[1] Torres, F., Pomares, J., Gil, P., Puente, S. & Aracil, R., “Robots y Sistemas Sensoriales”. Ed. Prentice Hall – España, 2002.

[2] Craig, J. J, “Introduction to Robotics”. Ed. Addison Wesley, Reading, MA, 1989.

[3] Reyes Cortés, F., “Robótica – Control de Robots Manipuladores”. Ed. Alfaomega, México, 2011.

[4] Ollero Baturone, A., “Robótica Manipuladores y robots móviles”. Ed. Alfaomega, España, 2007.

[5] Barrientos, Antonio; Peñín, Luis Felipe; Balaguer Carlos y Aracil Rafael. “Fundamentos de Robótica”. Editorial McGraw – Hill. Madrid – España, 2007.

[6]Kelly, R. & Santibáñez, V., “Control de Movimiento de Robots Manipuladores”. Ed. Prentice Hall – México, 2003.

[7] Iñigo Madrigal, R. & Vidal Idiarte, E., “Robots industriales manipuladores”. Ed. Alfaomega, México, 2004.

[8] Spong, M. & Hutchinson, S. “Robot Modeling and Control”. Ed. John Wiley & Sons, 2006.

[9] Meriam, J. L. & Kraige, L. G., “Engineering Mechanics Dynamics”. Ed. John Wiley & Sons, Inc, 7th Edition. 2016.

[10] Sciavicco, L. & Siciliano, B., “Modelling and control of robot manipulators”. Ed. Springer, 2005.

* * *

30

REPI: la Descentralización del Conocimiento Académico

Jorge Luis Favier

Resumen: La REPI se plantea como un espacio de producción, construcción y aprendizaje de conocimientos desde una instancia pragmática y cercana al estudiante. Un espacio donde el alumno es protagonista de sus propios conocimientos, porque puede incorporarlos a partir de la experiencia vivida. En este trabajo se pone de manifiesto la experiencia real y concreta de que es posible construir un Medio Masivo de Comunicación Universitario novedoso. Un medio hecho por y para los miembros de la unidad académica. Donde predomina la descentralización del poder académico y se busca la democratización de la palabra. La Radio Escuela ofrece múltiples posibilidades para realizar experiencias ligadas a los contenidos curriculares que se abordan en las distintas áreas del aprendizaje.

Palabras Clave: REPI, GOPC, radio, escuela, estudiante.

1. Introducción

La sociedad de hoy en día refleja un ritmo de vida que está directamente vinculado con los nuevos avances de la tecnología. Las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC's) se convierten en una herramienta fundamental para la construcción de discursos. La radio se presenta como un medio "tradicional", un espacio legitimado para la construcción y circulación de discursos. Está presente a diario en la vida de una persona. Generalmente acompaña las distintas actividades laborales, el estudio, tareas domésticas, entre otras. Se convierte así en compañía diaria de las vidas de los oyentes, ya que permite escucharla y a la vez realizar otras tareas. "La radio es un medio masivo de comunicación que promueve los valores de la creación colectiva y el trabajo en equipo, permitiendo así aprender una serie de valores necesarios en la instancia de aprendizaje por parte de los estudiantes. En la actualidad, las nuevas tecnologías logran indagar en otras formas de hacer radio, la radio digital, es un

ejemplo de ello“[1]. La Radio Escuela Por Internet (REPI) innova, a partir de la creación de los Grupos Operativos de Producción de Contenidos (GOPC). Son grupos productores de información constante, donde las temáticas se adecuan a los gustos de los participantes. Dentro de los GOPC, sus miembros, ejercitan las tareas en los diversos roles a ocupar para el trabajo dentro de la radio. El propósito de los GOPC radica en conocer personas nuevas, vincularse, aprender, divertirse e informar, fomentando en sus participantes el sentido de pertenencia a la comunidad de la Universidad de Mendoza (UM). Se trabaja de una forma horizontal y se descentraliza el conocimiento, permitiéndoles a los miembros de REPI capacitar a nuevos miembros y generar así una comunidad global. La Radio Escuela Por Internet es un medio masivo de comunicación que persigue dos fines: uno institucional y otro, pedagógico. En cuanto a lo institucional, se presenta como herramienta de comunicación y difusión de las actividades y contenidos de la Universidad de Mendoza. En este sentido trabaja conjunto a los diferentes departamentos de la Universidad. En cuanto a lo pedagógico, se busca generar contenidos de calidad que le permitan a la Universidad de Mendoza dar a conocer su capital de conocimiento, en términos globales, a toda la comunidad a través de Internet. En este trabajo, materializamos la experiencia que ha significado dar origen desde el comienzo a un medio masivo de comunicación que sin duda generará una nueva forma de comunicarnos y vincularnos dentro de la comunidad académica de la Universidad de Mendoza. Además, este medio es el primer medio institucional de la Universidad de Mendoza. El proyecto REPI recién comienza, tiene una gran visión a largo plazo y una búsqueda estratégica ligada a la educación y la comunicación.

2. Recursos materiales

Los recursos materiales son una pieza fundamental a la hora de poner en funcionamiento un proyecto tan complejo como lo es la Radio Escuela Por Internet. Principalmente, nuestro estudio tiene en cuenta todos los puntos que se explican a continuación. El proyecto se vincula con:

2.1. Recursos técnicos: Es todo el equipamiento de una radio convencional. Desde el hardware y software, hasta el servidor de streaming para poder difundir la radio por Internet. Se han segmentado las necesidades técnicas según dos grupos:

2.1.1. Requerimientos técnicos de la cabina de locución: La sala de "aire" está constituida por, micrófonos, computadoras, auriculares, equipo de monitoreo, altavoces, cartel de aire, entre otros. En este apartado, a la hora de construir un estudio, hay que tener muy presente el acondicionamiento del estudio para que la acústica del mismo sea de excelente calidad y no se filtren los sonidos.

Insonorización: El objetivo es lograr que los ruidos exteriores no entren en el locutorio o en la cabina de grabación. Para eso es conveniente que no exista ninguna ventana que dé a la calle. En caso contrario, se debe aislar con doble vidrio y silicona en las uniones o juntas. Las paredes o techos que dan a otras salas donde generalmente hay ruidos deben ser aisladas. Se puede crear una doble pared (su interior este relleno con lana de vidrio) o usar un tabique falso con madera o yeso. Las puertas comunes suelen ser un problema en la aislación acústica, para las cabinas, esto se resuelve colocando una puerta con material aislante en el medio.

Acústica: El sonido produce una serie de ondas que rebotan de un lado a otro, de modo que se debe tratar de evitarlas. Un método para atenuarlas es optar por espumas que sean un poco tupidas para que tengan una buena absorción del sonido. Por otro lado, el suelo es conveniente alfombrarlo.

2.1.2. Requerimientos técnicos de la sala de operaciones: Consola para la puesta al aire, computadoras, equipo de monitoreo, auriculares, entre otros.

Servidor de Internet: Es lo que permite la salida al aire. Al tratarse de una Radio Escuela esta herramienta es condición indispensable para su existencia. "A través del sitio, la radio se puede conectar y recibir información, horarios de

programas, descargar archivos de programas ya emitidos, publicidad institucional, entre otras posibilidades" [2].

2.2. Recursos humanos: A diferencia de las radios convencionales, la REPI tiene equipos de trabajo (GOPC) que pertenecen a la comunidad académica. Al no ser profesionales de la comunicación, se les pide que cursen una serie de talleres que la Radio Escuela dicta para que adquieran las herramientas para generar contenidos de calidad.

3. Objetivos

El concepto del proyecto de la Radio Escuela consiste en lograr una vinculación horizontal entre estudiantes y profesores de las distintas unidades académicas. Entre ellas podemos mencionar: las distintas Facultades de la Universidad de Mendoza (sede San Rafael, Sede Rio Cuarto, Extensión Áulica Cipolletti) y la Escuela Técnica de la Universidad de Mendoza. La vinculación horizontal se logra mediante el encuentro de estudiantes de distintos años de las diferentes Sedes y Facultades de la Universidad de Mendoza, de los docentes, el personal académico y todo miembro de la comunidad de la Universidad de Mendoza.

Los objetivos generales del proyecto son:

Fomentar vínculos entre las 2 entidades que forman este proyecto (Universidad de Mendoza y Escuela Técnica de la Universidad de Mendoza). De esta manera, se busca alimentar en el estudiante que transita su formación dentro de la escuela técnica, un interés por acercarse en un futuro a una formación académica universitaria.

Construir un medio masivo de comunicación que sea propio de la Universidad de Mendoza, por lo tanto, que alimente a la política de comunicación de esta institución y que además sea un espacio para la puesta en práctica de conocimientos por parte de estudiantes y docentes, tanto de la Escuela Técnica como de la Universidad (incluida todas sus sedes).

Permitir a los estudiantes ser los protagonistas de sus propios discursos. Deconstruir para construir el esquema jerárquico de “profesor-estudiante” y generar un proceso de aprendizaje más horizontal y democrático, donde los alumnos también se convierten en voces “legítimas” a partir del acompañamiento pedagógico de sus docentes.

Generar un espacio de comunicación donde el estudiante manifieste sus deseos e inquietudes desde su propia realidad y a partir de allí, construya contenidos radiales.

Vincular las distintas áreas del conocimiento a partir de procesos creativos que requieren del uso de distintas competencias lingüísticas y tienen como eje la comunicación y el intercambio. Estimular los procesos creativos como forma alternativa de investigación, desarrollo y apropiación de los contenidos curriculares.

Generar un sentido de pertenencia (ligado a la institución) para todos los estudiantes que la transiten. Que sea un espacio donde el alumno se siente parte, ya no como observador, sino como protagonista.

En definitiva, la radio permite el acceso a un proceso en el que todos tienen algo que sumar desde la creación, los aprendizajes adquiridos o la experiencia personal. Se propone una radio que se convierte en una herramienta pedagógica y didáctica al servicio de un proceso de aprendizaje integral, que es aula y taller, que produce contenidos relacionados con otros abordados desde las diferentes asignaturas y los socializa con la comunidad, que se convierte en su audiencia. “La Radio Escuela se define como un proyecto alternativo de comunicación, aprendizaje y que puede animarse a definir su propia estructura de organización y concepción.” [3]

4. Métodos

Dentro de los métodos que se ahondaran en esta sección, como la formación, la evaluación y la coordinación, la primera respectivamente es fundamental en el proyecto REPI. La Radio Escuela sostiene y fomenta la generación de ideas a partir de un conocimiento libre y autónomo. Esto quiere decir

que los saberes no se concentran en una sola persona, sino que trascienden en los otros. El docente aparece como un facilitador de conocimientos y experiencias, brindándoles aquellos a los que acompaña en la formación, las herramientas necesarias para apropiarse del conocimiento y transmitirlo también a otros. Dentro de la REPI quién se encargará de las tareas de formación es la/el Director/a de producción. Este rol será un nexo entre las dos funciones de la radio: ser un medio institucional y ser un medio de formación (radio-escuela). Por lo tanto, este rol se divide en tres áreas de trabajo: Formación, Evaluación y Coordinación. La formación y evaluación responderían al criterio pedagógico y formador de la REPI, mientras que la coordinación hace referencia al seguimiento y control de los diferentes contenidos que se transmitirán por la radio. En este último caso el control y coordinación de contenidos persigue un fin específico: que los mensajes y contenidos estén dentro del marco institucional y de su planteo comunicacional.

4.1 Formación: Se dictarán talleres de formación a los alumnos que deseen participar de los GOPC. Los mismos deberán tener aprobado el nivel básico de formación para poder comenzar a trabajar en la puesta al aire de su programa. La primera instancia será la presentación del tema a partir de una ficha estandarizada que se le entregará al grupo para colocar distintos datos. El GOPC debe estar conformado por cinco o más alumnos. La dirección de la radio será la encargada de aprobar o no el tema elegido. En esta instancia se analiza si el tema elegido por el GOPC está en sintonía con los lineamientos generales de la Universidad. Una vez que los grupos han sido aprobados con los temas e ideas para su programa empieza el proceso de formación. Además para aquellos estudiantes que se les dificulte el cursado de los talleres existe la formación a distancia, que luego será explicada. La formación se dividirá en tres niveles:

4.1.1 Nivel básico: Será requerida su aprobación para la puesta al aire del programa, Al finalizar, el GOPC habrá adquirido los conocimientos mínimos necesarios para poder realizar la puesta al aire del programa presentado. Durante el

cursado de este primer nivel, los alumnos empiezan a trabajar en el proceso de pre-producción de sus programas. De esta manera cuando el estudiante se encuentra con la instancia de grabación y puesta al aire, tiene todos los conocimientos que le sirven de herramienta para desempeñar esta tarea de manera óptima. Dentro del cursado, los estudiantes, realizarán pruebas pilotos y se trabajará profundamente sobre los contenidos y roles. La calidad de los contenidos es fundamental. Recordemos que luego nuestros programas quedarán en la plataforma "on demand" y que ese material se replicará infinitas veces para todos aquellos que lo necesiten. Por lo tanto, es de suma importancia que los mensajes que se generen desde la REPI sean de excelente calidad. Allí es dónde los talleres aparecen con fuerza para brindar herramientas a todos aquellos que quieran adquirirlas y sumar nuevos conocimientos que nos potencien como profesionales o futuros profesionales.

4.1.2 Nivel intermedio: Este nivel profundiza algunos conceptos aprendidos en el nivel básico, pero centrándose principalmente en las tareas de producción y locución.

4.1.3 Nivel avanzado: En este nivel se desea profundizar en el periodismo de investigación y en la posibilidad de que los estudiantes también aprendan a liderar y capacitar a sus equipos de trabajo. De esta manera el conocimiento pasa a ser algo que circula continuamente entre los alumnos que logran vivenciar los dos roles a ocupar en un ambiente de trabajo: facilitador y aprendiz. El conocimiento adquiere de esta forma libertad y autonomía.

4.1.4 Formación a distancia: Siguiendo la idea de autonomía del conocimiento, los talleres que se brindarán en forma presencial también se desarrollarán en la plataforma virtual de la Universidad de Mendoza. De esta manera todo aquel que desee acceder fácilmente al material de trabajo, puede hacerlo. Además, esta metodología de formación y enseñanza, permite que el proyecto se extienda a las otras sedes de la Universidad. De esta forma, alumnos que cursen en la unidad de Río Cuarto, por ejemplo, podrán también

poder formarse en la temática radial y comenzar con el trabajo de pre-producción de sus programas.

4.2. Evaluación: La evaluación será continua. Serán talleres teórico-prácticos donde se evaluará el aprendizaje teórico a partir de la exposición de alguno de los temas dados en los talleres a nivel teórico. Cada estudiante deberá exponer alguno de los temas tratados en los talleres para evaluar principalmente la capacidad oratoria del alumno y la comprensión teórica. En lo que respecta a la parte de evaluación práctica, los resultados del aprendizaje se irán percibiendo en la instancia de puesta al aire de los programas. Como se sabe, la instancia de aprendizaje práctico lleva tiempos diferentes a los teóricos. También se evaluará durante el proceso de dictado de las clases ciertas tareas prácticas que tienen que ver con el trabajo de pre-producción de un programa. Pero la evaluación se hará de forma continua durante el año mientras los diferentes grupos hagan transmisiones de sus respectivos programas. Esto se debe a que no se llegará a un momento final del aprendizaje, sino que durante la puesta al aire de los programas, a partir de la coordinación del director/a de producción, el estudiante irá corrigiendo ciertas cuestiones y aprendiendo también desde la vivencia de las experiencias concretas. Una forma de evaluar el trabajo práctico de los alumnos e incentivarlos a seguir creciendo en el mundo REPI, serán los “Premios REPI”. Menciones y distinciones que se otorgarán a los alumnos en forma individual y grupal según su desempeño en el ámbito laboral de la radio. Estos premios se dividirán en diferentes categorías y se premiarán a aquellos roles que han sido de gran aporte en el desarrollo anual de la programación de la radio. De esta forma, la evaluación se vuelve un proceso que el estudiante puede disfrutar, sintiéndose parte de la comunidad REPI, en donde se verán reflejados sus conocimientos y podrá compartirlos con futuros miembros de esta comunidad educativa.

Los premios entregados a los GOPC serán: REPI DE ORO; REPI DE PLATA; REPI DE BRONCE. Mejor gopc deportivo; mejor gopc de interés general; mejor gopc musical; mejor

gopc cultural / educativo; mejor gopc político / económico; mejor gopc periodístico; mejor gopc de espectáculos.

Los premios personales a los integrantes de los gopc serán: Labor conducción femenina; labor conducción masculina; labor locución femenina; labor locución masculina; labor periodística femenina*;* labor periodística masculina; mejor labor en producción; mejor labor en operación*;* mejor labor en musicalización.

4.3 Coordinación: El/la director/a de producción será principalmente un facilitador/a de conocimientos y una figura que acompañe a los estudiantes durante el proceso de aprendizaje. Se encarga de ir observando el desempeño y funcionamiento de los diferentes GOPC. Orienta a sus miembros en la mejora continua y la búsqueda de la calidad de los contenidos. Brinda herramientas para la construcción de mensajes y contenidos novedosos y creativos. Además, este rol dentro de la REPI ocupa una tarea más y es la de servir de "caso testigo". El/la directora/a de producción llevará adelante su propio programa radial en el cual cualquier estudiante que desee participar podrá formar parte. Será un programa que perseguirá dos fines: el de generar contenidos culturales de calidad y el de ser un ejemplo en el acompañamiento de los diversos GOPC en la puesta al aire de programas dentro de la REPI. Este programa trabajará con un periodismo de espectáculos que acompañe al desarrollo cultural de la provincia de Mendoza. Servirá de ejemplo y manifestará en lo concreto, los conocimientos adquiridos en los tres niveles de formación de REPI. Se acompañará de forma permanente a los estudiantes en el desarrollo práctico de sus conocimientos, guiándolos y ayudándolos en todo lo que sea necesario para que el producto radial que ofrezca la Universidad sea de gran calidad (educativa, social y humana).

5. Innovación

El proyecto REPI se presenta novedoso en un aspecto *comunicacional* y *pedagógico*. En lo comunicacional, rescata dos elementos socialmente debilitados dentro de nuestra cultura actual, que está atravesada con fuerza por los medios

masivos de comunicación y las nuevas tecnologías. Estos elementos son: lo emocional y la palabra (la narración). En lo pedagógico, la REPI *democratiza la palabra* y *descentraliza el conocimiento* académico. Esto es lo que la diferencia de las radios por Internet tradicionales o las radios universitarias convencionales. El trabajo comunicativo y educativo se da en forma horizontal, a partir de la experiencia compartida del trabajo en equipo.

5.1. El rescate de la dimensión emocional: En cuanto a lo emocional, podemos decir que la Sociedad de la Información, con su gran avance tecnológico, atraviesa un fuerte momento de debilidad de las características propias del ser humano como es, por ejemplo, la conexión con lo emocional. Lo emocional permite la empatía y por lo tanto el respeto hacia el otro. La radio trasmite un conocimiento por medio de las emociones y está dirigida también a generar emociones en quien la escucha. La radio es una voz triple: la voz humana (palabras), la voz de la naturaleza, el ambiente (los efectos de sonido) y la voz del corazón expresada a través de la música. [4] La conjunción de estas tres voces se dirige directamente al plano emocional del oyente, siendo estímulo para conectar con sus propias emociones. La radio así se vuelve transformadora y le permite al individuo no relegar un plano tan esencial para la vida en sociedad como es el emocional.

5.2. Se retoma el poder de lo narrativo: Siguiendo dentro del aspecto comunicacional, REPI y el concepto de Radio Escuela, permite rescatar la palabra (narración) como elemento pedagógico, educativo, de traspaso y enseñanza cultural. Antes de los avances que trajo al mundo la novedad de la imprenta, la palabra era herramienta fundamental para el traspaso de información de una cultura a otra. La palabra permitía que la función simbólica se pasara de una generación a otra. El proyecto REPI elige como medio principal para llevar adelante su trabajo comunicacional y pedagógico a la radio, precisamente porque rescata el poder de la palabra. En una sociedad donde el exceso de imágenes abunda, el rescate de la palabra se vuelve importante. En REPI la palabra, lo narrativo, se convierte en herramienta central y fundamental.

También la palabra ha sido “el medio de comunicación” por excelencia, a través del cual el profesor se convierte en estructurador del pensamiento del alumno. En REPI se le da otro formato a la palabra. [5] No se mantiene la relación vertical profesor-estudiante, sino que tanto profesor como estudiante pueden ocupar roles de ser facilitadores de conocimientos a través de la palabra. Además, se trabaja la palabra de una forma creativa y novedosa utilizando el lenguaje radial, sus géneros y formatos. Incentivando así un uso creativo y atractivo de la palabra.

5.3. Innovación pedagógica y social: En cuanto a la innovación pedagógica, REPI es una de las primeras radios universitarias de la provincia de Mendoza cuyos contenidos son generados por la propia comunidad académica. Los contenidos son creados por los GOPC (Grupos Operativos de Producción de Contenidos). Estos grupos están formados por profesores, estudiantes y personal académico. Generalmente en las radios universitarias o con fines pedagógicos, se les da lugar a los estudiantes avanzados únicamente en las carreras de comunicación o a personas ya egresadas y experimentadas en el tema de los medios masivos de comunicación. REPI es una plataforma global que persigue la democratización de la palabra. Todos/as tienen voz para decir y construir sus propios discursos. Se parte de la realidad de los miembros de la unidad académica para luego construir discursos, mensajes, informaciones que se comparten con los demás. Es un espacio comunicativo dónde todos/as son protagonistas. Se les brindan las herramientas necesarias (a partir de los tres talleres de formación gratuitos) para que puedan apoderarse de una nueva herramienta y de esta forma compartir sus habilidades con el resto de la comunidad académica y con el mundo. Además de la democratización de la palabra, también se genera un proceso de “descentralización” del conocimiento, por lo tanto, del poder. Esto se consigue gracias a la tecnología “on demand” y de “podcasting”, con la cual los contenidos generados por los miembros de REPI pueden llegar a diversos puntos del mundo. Se rompen las barreras de tiempo y de espacio en el

traspaso de información y conocimiento. Así se generan redes y vínculos horizontales y descentralizados que generan la globalidad del proyecto. Todo proceso periodístico pertenece al escenario del debate y de la puja entorno al poder, porque lo defiende, lo avala, lo sustenta o lo justifica o porque lo cuestiona y trabaja para su destrucción, para su reemplazo o para su modificación sustancial. La práctica periodística pertenece al terreno de la disputa por el poder y del poder. [6] En REPI no existe sólo una voz autorizada y por lo tanto tampoco un único conocimiento válido. Tampoco existe una sola persona en la cual se centralice el conocimiento porque también se forma a los miembros de REPI para que puedan formar a futuros miembros. Si se democratiza la palabra y se descentraliza el poder, se presenta una alternativa comunicacional fuerte y novedosa. Esta decisión se vuelve política, porque busca innovar desde la ruptura con modelos clásicos o rígidos tanto en el proceso de facilitación de un conocimiento como en el proceso comunicativo e informativo. Además, esto se refleja en la forma de materializar los contenidos. Se busca romper con la idea de que un contenido culto (vinculado a lo académico) es un contenido elitista (excluyente). La radio es integradora y más aún en este proyecto. No excluimos a ningún sector de la sociedad civil, pero principalmente nuestros contenidos y discursos tienen que ir dirigidos a aquellos que encuentran en la radio una de las únicas formas de educarse o de adquirir nuevos conocimientos. Allí se materializa nuestra finalidad educativa. Es por esto, que no se debe confundir lo cultural con lo erudito. REPI es una radio cultural, cercana a la gente común, a los ciudadanos y ciudadanas. No por ser una radio universitaria y académica se dirige sólo a un sector restringido de la sociedad, al contrario, incluye absolutamente a todos/as.

En lo pedagógico también es importante destacar que el conocimiento depende en gran medida de la *experiencia*. Es por esto que el proyecto REPI se presenta como una Radio Escuela y no como un simple medio de comunicación institucional académico. Es una de las pocas radios universitarias de la provincia dónde se les permite a los

alumnos aprender durante el proceso de la puesta al aire. Esto también se vuelve innovador. La formación previa dada en los talleres, está para poder sentar las bases y los conocimientos básicos necesarios para generar contenidos de calidad. Pero luego, en la puesta al aire de los programas, el proceso de aprendizaje continúa. Se incorporan nuevos conocimientos provenientes del plano de la experiencia vivida. Este fin pedagógico (teórico- práctico) de la radio, permite diferenciarla de otras radios que persiguen otros fines e incluso de otras radios que pertenecen a instituciones académicas. En conclusión, en una sociedad dónde cada vez toma más poder la imagen, el rescate de la palabra y lo narrativo es innovador. Sucede lo mismo con la democratización de la palabra y la descentralización del conocimiento y del poder académico. En una sociedad donde predomina el monopolio de medios y por lo tanto la centralización del poder discursivo en unos pocos, proponer medios no convencionales que busquen romper con la comunicación monopólica no sólo es innovador en lo comunicacional sino también en lo social. Medios de comunicación académicos que acompañen el desarrollo y crecimiento social, para alcanzar una sociedad cada vez más democrática e inclusiva. Esa es nuestra propuesta a través de la implementación y construcción de este Medio Masivo de Comunicación.

6. Resultados

El proceso de la puesta en marcha de la REPI, ha llenado de conocimientos y aprendizajes provenientes del campo de la experimentación a los integrantes de este trabajo. Sobre lo avanzado en los objetivos, se destacan 3 resultados.

6.1. La web: El proyecto REPI ya cuenta con su plataforma en la web donde se puede encontrar la programación. Además, es importante destacar que nuestra radio ya forma parte de la plataforma global de radios en el mundo: “Radio Garden”. Esto ha acercado la REPI a miles de personas de diversas partes del mundo. El sitio es: `http://repi.um.edu.ar/`. Ya hay música disponible las 24 horas del día, los 365 días

del año. Además de la página web, la REPI tiene su aplicación disponible para Android.

6.1.1 *Radio Garden:* Es un proyecto de investigación de Studio Puckey, dirigido por Golo Föllmer en la Martin-Luther University Halle en colaboración con otras universidades de Holanda y Reino Unido, coordinadas por el Instituto para el Sonido y la Visión en Holanda. Su idea central: crear un mapa interactivo tipo Google Earth donde se pueda recorrer el mundo a partir de sus estaciones de radio, pudiendo escucharlas en vivo, tal cual están siendo emitidas, sin importar fronteras, idiomas o culturas. Permite poner, al alcance de todo el mundo, la maravilla de la radiodifusión. En la presentación de la REPI, un objetivo fundamental de la misma, fue la de ser una plataforma global. Que la Radio Escuela de la Universidad se encuentre dentro de esta plataforma persigue, precisamente, esos objetivos de globalidad. Las voces de la UM podrán llegar a miles de personas rompiendo las barreras del tiempo y del espacio. Se podrán intercambiar historias, información, opiniones y muchos contenidos que circulan gracias a este medio masivo de comunicación. En los primeros meses dentro de la plataforma, ya han escuchado la REPI países como: Uruguay, Paraguay, Holanda, Brasil, Francia, Costa Rica, Canadá, Colombia, México, Chile, España, entre otros. En la semana 7 la REPI ingreso a Radio Garden, en la siguiente tabla se puede notar el incremento generado en las estadísticas.

Tabla 1 *Estadísticas de diversas variables útiles para la mejora continua del proyecto.*

Semana	Oyentes Únicos	Países Únicos	Promedio de Longitud de Sesión (minutos)
1	220	9	2.6
2	59	5	3.5
3	42	8	7.3
4	62	9	10.4
5	0	0	0
6	35	5	14.6
7	150	23	9.1
8	286	29	2.1

6.2. Construcción del estudio REPI: la Universidad de Mendoza ya ha comenzado con el proceso de construcción del estudio donde la REPI podrá generar sus propios contenidos. De esta manera, la programación actual (que es únicamente música) sería reemplazada por programas de una hora de duración que llenaran la grilla de contenidos de todo tipo. El estudio está situado en la plata alta de la casa que se encuentra al lado del Rectorado.

6.3. Formación de los primeros GOPC: gracias al dictado del "Taller Básico (introducción al lenguaje radial)" que dictó la REPI, ya se han sumado al proyecto una gran cantidad de alumnos, docentes y personal académico que están empezando a trabajar en sus programas. Los Grupos Operativos de Producción de Contenidos que ya se han formado y que serán los primeros en formar parte de la futura programación de REPI son:

6.3.1 Cultura: Se trataran tópicos como cine, música, artes plásticas, fotografía, teatro, literatura, curiosidades del ámbito de la cultura, entre otros temas. Serán contenidos tanto locales como nacionales e internacionales.

6.3.2 Deporte: Programa deportivo que incluirá secciones como sportistas de antaño, la magia del deporte en la sociedad y toda la actualidad del futbol, tenis, rugby y mucho más del ámbito nacional e internacional.

6.3.3 Análisis social: Programa de debate, de análisis, periodismo de investigación, problemáticas sociales, entre otros.

6.3.4 Radio teatro: Audio drama que al carecer de componentes visuales dependen del diálogo, la música y los efectos de sonido para ayudar al oyente a imaginar la historia.

6.3.5 Salud: Temas de psicología, kinesiología, medicina, odontología, entre otros.

6.3.6 Magazine: Un espacio donde predomina el humor, el entretenimiento y la cultura general.

6.3.7 Tecnología: Programa que te acerca a las novedades tecnológicas, la informática, tutoriales de resolución de problemas, avances en aplicaciones, entre otros temas del mundo tecnológico.

7. Análisis y discusión

Actualmente los medios de comunicación constituyen un nuevo universo cultural y tecnológico que la escuela y la universidad deben conocer y promover en el ámbito educativo. Comprender los lenguajes de la tecnología y de la comunicación para apropiarse del conocimiento implica saber interpretar y evaluar la realidad para construir opiniones autónomas. El acceso y el uso de estos nuevos códigos dejan de considerar al receptor como una entidad pasiva para pensarlo como un intérprete capaz no sólo de descifrar la información que recibe, sino también de expresarse y construir su propio mensaje. Adquirir el manejo de las nuevas tecnologías permite al sujeto actuar como creador y comunicador. Para los jóvenes los lenguajes de la comunicación tecnológica de este principio de siglo son herramientas válidas para pensar, analizar, sobre todo, para expresarse. Decodificar, volver a codificar, construir y producir la propia información con una amplia gama de posibilidades que se interrelacionan entre sí son acciones que estimulan la sensibilidad y el criterio propio. “Trabajar con el lenguaje audiovisual enriquece la percepción estética en torno al sonido, la imagen, el texto. Al mismo tiempo, obliga a pensar contenidos, diseñar estructuras y buscar nuevas formas para el pensamiento, trazar estrategias y analizar e inferir conclusiones desde una perspectiva de conjunto” [7].

8. Conclusiones

Esta es la era de los nativos digitales, una generación que crece en un vínculo directo con la tecnología y las pantallas. Por lo tanto, en un nivel pedagógico esto no puede pasar desapercibido. Los conocimientos y aprendizajes se deben adaptar a esta nueva generación para poder ser más óptimos y eficaces en la instancia de formación del alumno. Es necesaria una pedagogía en medios masivos de

comunicación que se adecue a la nueva realidad que viven los estudiantes, a sus características y contexto socio cultural. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente el aspecto global de la REPI se adapta perfectamente a las condiciones dadas debido a su plataforma, ya que al estar "en la nube", permite el acceso virtual desde cualquier lugar del mundo mediante algún equipo: PC, móvil u otro dispositivo que tenga conexión a internet, para poder escuchar los contenidos generados por la Radio Escuela. Concluyendo, es importante volver a mencionar que el proyecto REPI ya está en marcha y crece cada vez más. Las ventajas competitivas con las que cuenta este proyecto, se basan en que gran parte de los recursos necesarios para la Radio Escuela ya están disponibles. Contar con Facultades afines al proyecto, tales como: Ingeniería, Diseño, Ciencias Económicas, Medicina, Ciencias de la Salud, Derecho, por nombrar algunas, generan un reservorio muy importante de conocimiento, estudiantes y profesores que pueden participar del proyecto de la Radio Escuela. Por otro lado, las especialidades que se desarrollan en la Escuela Técnica también lo son. Por lo que la Radio Escuela es un complemento ideal, a los fines pedagógicos, de ambas instituciones. Esto significa que las inversiones necesarias en recursos técnicos como humanos son mínimas, ya que se aprovecha toda la infraestructura disponible. De este modo el proyecto se potencia, ya que optimiza el desarrollo educativo, de la Escuela Técnica y la Universidad de Mendoza en su conjunto, poniendo a la vanguardia en este tema a ambas entidades. Ya se ha empezado el fascinante camino de "ser las voces" de la Universidad de Mendoza. Un camino que tiene un gran potencial, comunicacional y principalmente, educativo.

Agradecimientos: Los autores de este trabajo desean agradecer a: Departamento de Tecnología de la Universidad de Mendoza; Departamento de Comunicación y Diseño de la Universidad de Mendoza; Departamento de Arquitectura de la Universidad de Mendoza; Ilustraciones por Jorgelina Piccolella.

Autor: Jorge Luis Favier: Director del Grupo de Investigación de Packet Radio, Doctor en Ingeniería, docente en la Universidad de Mendoza. Código Postal 5500. jlfavier_cmgonzalez@hotmail.com. El instituto de investigación Estación de Packet Radio realiza trabajos de Investigación Tecnológica

Precompetitiva (ITP). Dichos trabajos se enmarcan dentro de las actividades extra curriculares que pueden desarrollar los estudiantes de grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Mendoza.

9. Referencias bibliográficas

[1] Girard, B. (2004) La radio e Internet. Mezclar los medios para cerrar la brecha digital. Roma, Italia. 1(1): 5-18.

[2] Gracía Gago S. (2010). Manual para radialistas analfatécnicos. Quito, Ecuador.

[3] Gamarnik, C. (2008). La importancia de la radio en los programas de educación a distancia. Buenos Aires, Argentina.

[4] López Vigil J. (2006) Manual urgente para radialistas apasionados. Venezuela.

[5] Gamarnik, C. (2008). La importancia de la radio en los programas de educación a distancia. Buenos Aires, Argentina.

[6] Espeche E. - Brite N. (2015) Planificación y gestión de proyectos periodísticos. Mendoza, Argentina.

[7] Watlington, L. (2013). Guía de periodismo en la era digital. Washington, DC. USA. 1(2): 7-16.

* * *.

3

Fundamentos Epistemológicos de la Tecnología

31

Inducción: Posibilidades y Prevenciones

Guillermo A. Cuadrado, Juan Redmond

Resumen: La inducción, como método de obtención de conocimiento, ha sido muy criticada primero por D. Hume y luego por K. Popper. La misma parte de algunos fenómenos observados y con ellos realiza generalizaciones, justificándolas con el principio de uniformidad de la naturaleza. A diferencia de la deducción, que ofrece certeza en la conclusión, la inducción relaciona las premisas con la conclusión sólo de manera probable. El propósito de este trabajo es presentar los tipos de inducción y reconocer las posibilidades y dificultades que presenta su aplicación en la ciencia y en la tecnología, ya que las afirmaciones provenientes de inducciones incompletas parten de instancias verdaderas en las premisas y luego, no necesariamente son verdaderas en la conclusión. El método utilizado para la obtener la información fue el análisis lógico y epistemológico de la bibliografía sobre inducción. Se encontró que la inducción completa aristotélica y la inducción individual universal implícita hegeliana permiten inferencias verdaderas o verosímiles, mientras que la inducción incompleta baconiana permite inferencias posiblemente verdaderas, pero no necesariamente. Se concluyó que en la etapa inductiva de la ciencia se realizaban observaciones y experimentos que luego se generalizaban en una ley universal expresada matemáticamente y, se consideraba que tanto la geometría euclidiana, como el cálculo que tenían contenido empírico. En cambio a partir del siglo XIX, en la etapa deductiva de la ciencia, se imaginan objetos y procesos que se teorizan en el lenguaje matemático, cuya existencia se busca y se corrobora luego por observación o experimento en el contexto de los laboratorios.

Palabras Clave: Deducción, generalización, conclusión, verdadero, experimento, observación.

Actualmente existen métodos estadísticos basados en inferencias inductivas que generan expectativas promisorias, como algunas predicciones a partir de encuestas o ciertas

técnicas denominadas ‘minería de datos’. Sin embargo, el carácter probabilista de las inferencias inductivas determina que a veces los resultados no se condigan con las expectativas esperadas.

Las inducciones son razonamientos que surgen a partir de la experiencia, cuyo fundamento reside en el supuesto de que la naturaleza sigue un curso uniforme, hecho que establecería que ante causas y circunstancias similares se producen efectos análogos. Cabe agregar, que cuando se habla de inducción, se trata de la que propuso Francis Bacon (1561-1626) como método de la ciencia. La misma es una inducción incompleta, que se contrapone a la inducción completa aristotélica.

Ciertas afirmaciones predictivas obtenidas por inducción, como aquellas que provienen de encuestas, suelen ser divulgadas por los medios, resaltando los aciertos y mitigando o ignorando los yerros. Para el público que ignora la falibilidad de la inducción, este hecho genera la sensación de ser un método seguro siempre, más aún cuando ésta viene incorporada en complejos sistemas de propaganda.

Estos hechos conducen a la necesidad de reconocer el problema de la inducción incompleta. Por ello, el propósito de este trabajo es precisar sus posibilidades y riesgos en la ciencia y en la tecnología.

Este trabajo caracteriza la deducción y la inducción y sus tipos. Luego se presenta la ciencia moderna en su etapa inductiva, cuya vigencia duró hasta el advenimiento de la etapa deductiva en el siglo XIX. Seguidamente se presenta el inductivismo y la crítica de Hume, y posteriormente se dan ciertos rasgos de la escuela de Cambridge que influyeron en el Círculo de Viena. Después se presentan ciertas características de la etapa deductiva de la ciencia moderna, donde surge el hipotético-deductivismo, con énfasis en la refutación y las críticas a la inducción de Popper, para pasar a continuación a las conclusiones.

Deducción y tipos de inducción

La deducción es una operación mental o inferencia que permite afirmar la verdad de un enunciado partiendo de la verdad de otros enunciados conocidos. Se trata de una secuencia de fórmulas que son axiomas o premisas y teoremas o fórmulas derivadas de otras mediante reglas de inferencia, donde el último elemento de la secuencia se denomina 'conclusión'. Toda deducción formal tiene una forma o estructura que permite evaluar los razonamientos como correctos o no. Cuando la inferencia se realiza mediante las reglas de la lógica se denomina 'razonamiento deductivo' o simplemente 'deducción' y, si las premisas son verdaderas, la conclusión también lo es.

El término 'inducción' tiene una ambigüedad de sentidos que conviene distinguir: a) completa b) individual universal implícita, c) matemática y d) incompleta. Las tres primeras no presentan dificultades, pero sí la incompleta, como se explica a continuación. La *inducción completa aristotélica* infiere atributos de un conjunto finito de objetos (cosas, procesos, sucesos) a partir de premisas que describen a cada uno de sus elementos, dicho de otro modo, es una descripción generalizada que abarca la totalidad de los individuos del conjunto tratado. Por ejemplo, sea el conjunto formado por John Lennon, Paul McCartney, George Harrison y Ringo Starr, de cado uno de ellos puede predicarse 'es inglés' o puede aplicarse la descripción generalizada 'Los Beatles son ingleses'. Esta concepción de 'inducción' es una comprobación necesaria de lo universal en lo singular, para que ambos se constituyan en su pluralidad conceptual y por ese motivo no es un proceso cognoscitivo que remite a lo universal desde lo singular (Aristóteles: 1982, 102; Mosterín y Torretti: 2002, 288).

La *inducción individual universal implícita hegeliana* es una síntesis entre lo particular y lo general en lo individual. Este último lleva implícito lo universal, ya que el caso o el individuo contienen un patrón universal que se repite en todos los individuos del conjunto, como ocurre con el ADN, por ejemplo (Salatino: 2017, 73). Mientras que la *inducción completa*

matemática es una inferencia deductiva donde las premisas del argumento implican necesariamente la generalización que constituye su conclusión. Es un razonamiento matemático en el que, si en una sucesión infinita de enunciados se demuestra que el *primero* y el *k-ésimo* tienen determinada propiedad, entonces también lo es para el enunciado *k+1-ésimo*, lo que permite deducir que cualquier enunciado de esa sucesión tiene la mencionada propiedad. Se trata de un razonamiento por recurrencia, fundado en el último de los cinco axiomas de Peano sobre la aritmética (Corcoran: 2004, 239).

En cambio, la *inducción incompleta baconiana* parte de ciertas afirmaciones y las generaliza como hipótesis universales o leyes que se justifican por el principio de uniformidad de la naturaleza. Se caracteriza por contener más información en la conclusión que en las premisas, por tal motivo posible que éstas sean verdaderas y su conclusión falsa. Dicho brevemente, es una *inferencia ampliativa* en la que la conclusión excede lo afirmado por el conjunto de premisas.

Este sentido ampliativo de la inducción contiene ciertos casos de interés como la argumentación por analogía, la inferencia predictiva, la inferencia de las causas a partir de signos y síntomas y la confirmación de leyes y teorías científicas.

Francis Bacon (1561-1626) la propuso en su *Novum Organum* un método de interpretación de la naturaleza, contrario a la inducción por simple enumeración de Aristóteles. El mismo consistía en introducir una inducción progresiva, basada en una amplia recolección de datos, para establecer correlaciones iniciales entre diversos hechos y determinar la causa del fenómeno estudiado. Desde el punto de vista histórico, el método de Bacon es la primera afirmación del *inductivismo*, que sostiene que partiendo de los hechos es posible conocer hipótesis universales, leyes o teorías. (Skyrms: 2004, 535).

Etapa inductiva de la ciencia moderna

Como es sabido, el Renacimiento cambió los conceptos de tiempo y espacio; promovió el uso de cálculos en cosas

prácticas; modificó el método de estudio del mundo natural, renunciando a las esencias y a las explicaciones de los fenómenos naturales con principios universales de carácter teleológico, porque no expresaban las trasformaciones de la realidad. Es más, la necesidad de obtener resultados útiles impulsó investigaciones circunscriptas a esquemas particulares, limitados a buscar unas pocas causas inmediatas que permitieran comprender los hechos observados (Agazzi: 1984, 237).

Los fundadores de la ciencia creían que la matemática les permitiría descubrir el curso de los fenómenos naturales, considerando unos pocos principios básicos (Kline: 2000, 48-49). La vía para lograrlo consistía en idealizar los fenómenos con estructuras geométricas. Luego, la certeza de que las afirmaciones se correspondían con la realidad se lograba por medio de experimentos y observaciones hechas con instrumentos confiables, como relojes, telescopios, o péndulos, entre otros (Geymonat: 1985, 10).

En la Edad Media, el conocimiento del mundo natural se sustentaba en esencias, causas finales y principios de carácter metafísico y el espacio estaba formado por lugares concretos. Contrapuesta a esa posición, Galileo Galilei (1564-1642) fue el primero en proponer la comprensión de los hechos observados mediante el estudio de unas pocas afecciones de los entes naturales. También consideró real al espacio descrito por la geometría de Euclides, iniciando un proceso que culminó en el siglo XVIII, cuando la ciencia moderna dominó completamente el espacio euclidiano (Koyré: 1994, 54-57).

Es conocido que Galileo propuso partir de las observaciones y usar el lenguaje matemático para estudiar el universo, prometiendo que así la realidad se presentaría en forma nítida y sin secretos. Él sostenía que reflexionar sobre la naturaleza no era suficiente para conocerla, dado que las leyes que rigen el universo se habían escrito en lenguaje matemático y que sin él no era posible entenderlo. Por esa razón perfeccionó el método experimental integrándolo con la matemática

> La Filosofía está escrita en ese vasto libro que está siempre abierto ante nuestros ojos, me refiero al universo, pero no puede ser leído hasta que hayamos aprendido el lenguaje y nos hayamos familiarizado con las letras en que está escrito. Está escrito en lenguaje matemático, y las letras son los triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las que es humanamente imposible entender una sola palabra; sin ellos es recorrer en vano un oscuro laberinto (Galilei, Galileo. (1997) *Il Saggiatore*. Progetto Manuzio, Associazione Culturale Liber Liber, pp.16-17).

El Renacimiento trajo la idea de que todas las lenguas tienen los elementos racionales. En ese sentido, al llegar el siglo XVII, ya se pensaba que la razón era igual para todos los hombres y además, que la relación entre lenguaje y pensamiento era la misma en todos los idiomas. Esta noción impulsó la búsqueda de una lengua racional universal, que resolviera sin ambigüedades los interrogantes de la ciencia, tratando las afirmaciones de tal manera que su significado y validez fueran indiscutibles (Muñiz Rodríguez: 1989, 103-109; Valenzuela: 1978, 14).

Cabe agregar que hubo numerosos intentos por encontrar lenguajes racionales y universales, que permitieran formular afirmaciones precisas e isomorfas con la realidad, dado que las realizadas en lenguaje natural podían ser ambiguas. En ese sentido hubo varios intentos tendientes a materializar el ideal indicado, con autores como Johann Becher (1635-1682); Pedro Bermudo (1610-1684); Athanasius Kircher (1601-1680); George Dalgarno (1626 - 1687); John Wilkins (1614-1672); Antoine Arnauld (1612- 1694) y Claude Lancelot (1615-1695) con su Gramática de Port-Royal. Uno de esos proyectos fue la *Mathesis Universalis*, estudiado separadamente por Renato Descartes (1596-1650) y Gottfried Leibniz (1646-1716), este último también desarrolló la *Characteristica Universalis.* Se trata de procedimientos que utilizan reglas matemáticas de intuición, rigor y exactitud, que forman lenguajes universales basados en símbolos, un anticipo de la lógica simbólica moderna (Becker: 1966, 198; Kline: 2000, 70-71).

Por cierto, una característica notable de todas estas construcciones es que pretendían asumir un dominio universal

para resolver todos los interrogantes de la ciencia. Es muy posible que el cálculo infinitesimal estuviera inscrito en ese mismo programa de investigación ya que en ese período sólo se disponía de la geometría euclidiana, pero ésta no tenía capacidad expresiva para describir el movimiento: Luego, para salvar esa limitación se desarrolló el citado cálculo, que permitió representar el movimiento y otros fenómenos aún más recónditos y adquirió su fisonomía casi definitiva gracias a G. Leibniz e Isaac Newton (1642-1727).

Para Newton la matemática era el instrumento para investigar los fenómenos naturales. Él aplicaba el método galileano que distingue un momento de análisis, con observaciones o experimentos y a continuación, el momento de síntesis, donde se realiza una generalización enunciando una ley expresada matemáticamente. Se supone que de ese modo inductivo formuló las leyes de acción y reacción, y de la gravitación universal, con la que pudo explicar el movimiento de los cuerpos celestes, descrito por Johannes Kepler (1571-1630) (Kline: 2000, 60-70).

Adicionalmente, las teorías encontradas inductivamente y expresadas en el lenguaje del cálculo infinitesimal, llegan al siglo XVIII con notables éxitos en numerosos campos de investigación: música (Bernolli, D'Alambert, Euler, Lagrange, Fourier), mecánica de fluidos, llevada incluso al sistema sanguíneo (Bernolli, Euler), teoría del calor (Fourier), el descubrimiento del achatamiento de los polos anticipado por Newton y Christiaan Huygens (1629 - 1695) y encontrado por Pierre Moreau de Maupertuis (1698-1759) en su expedición a Laponia. Además, es importante destacar la predicción de Alexis Clairaut (1713-1765) sobre el retorno del cometa Halley, las contribuciones a la astronomía hechas por Joseph Lagrange (1736-1813) y Pierre S. Laplace (1749-1827) y sobre todo, las irregularidades de los movimientos de los planetas y el descubrimiento de Urano, hecho por William Herschel.

Los hallazgos señalados, partes de una lista más extensa, eran evidencias de que partiendo de la observación se podía descubrir que el mundo obedecía a un plan matemático,

basado en principios simples y eficaces. Además, se corroboraba la idea de que la matemática podía extraer una copia del universo, del mismo modo que una mascarilla mortuoria saca la impronta de un rostro (Kline: 2000, 70-79).

Una de las grandes manifestaciones de la etapa inductiva de la ciencia fue la Enciclopedia (L'Encyclopédie), producida en Francia, en el siglo XVIII. La misma fue dirigida y editada por Denis Diderot (1713-1784) y Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783), con un total de 28 volúmenes, publicados entre 1751 y 1772; y tuvo el propósito de reunir y difundir el conocimiento acumulado hasta ese momento, de acuerdo con el punto de vista que sustentaba la Ilustración.

Inductivismo y la crítica de Hume

La *inducción incompleta* como método propio de la ciencia tuvo impulsores destacados: en el s. XIX se destacan John Herschel (1792-1871), William Whewell (1794-1866) y John Stuart Mill (1806-1873), mientras que en el s. XX, los más significativos son Bertrand Russell (1872-1970), la escuela de Cambridge y el Círculo de Viena, en particular Rudolf Carnap (1891-1970) y Hans Reichenbach (1891-1953). Por otra parte, y en oposición al inductivismo se encuentran David Hume (1711-1776), Pierre Duhem (1861-1916), Karl Popper (1902-1994) y su escuela del racionalismo crítico.

Tal como ya se indicó, Bacon, en su obra *Novum Organum*, introdujo una inducción progresiva, a partir de una amplia recolección de datos, consideradas por él las bases del conocimiento y que llamó 'historias naturales'. Con ellas establecía correlaciones iniciales entre diversos hechos, eliminaba las hipótesis no explicativas y determinaba la causa del fenómeno estudiado.

Con referencia a lo expresado, Bacon empleó tablas de presencias y ausencias, para llevar adelante ese proceso. Las primeras enumeraban los casos positivos en los que se observaba una determinada cualidad; mientras que en las segundas se indicaban los casos negativos relacionados con la ausencia de la misma cualidad. También había tablas de comparación y de observación de variaciones. Con esos

elementos descritos arriesgaba una hipótesis que debía ser sometida a una o más pruebas, de un modo análogo al del método hipotético-deductivo. Una de esas pruebas era la denominada 'experiencia crucial', que era un hecho decisivo para aceptar una hipótesis como concluyente y excluir otras (Olroyd: 1993, 95-97; Gillies y Giorello: 2005, 8-9).

En resumidas cuentas, la obtención de conocimiento con el método inductivo propuesto por Bacon consiste en: realizar observaciones y clasificarlas con cuidado; seguidamente por inducción, obtener generalizaciones entre ellas, hipótesis, leyes y teorías; y luego, con estas últimas realizar predicciones. Hay que tener en cuenta, que las generalizaciones inductivas, no siempre sirven como leyes generales que puedan concretar el argumento de una explicación científica.

La inducción baconiana es una forma no deductiva de inferir, sin embargo, es utilizada en la ciencia y en la misma vida cotidiana. Se caracteriza por contener más información en la conclusión que en las premisas, por ese motivo es posible que estas últimas sean verdaderas y su conclusión falsa. Ese caso, admite dos posibilidades: i) un razonamiento cuyas premisas no transmiten su verdad a la conclusión y por ello es inválido; o ii) la conclusión tiene más información que las premisas y en consecuencia amplía el conocimiento.

En el primer caso, la debilidad del razonamiento inductivo es evidente porque admite la verdad de las premisas y no la de la conclusión, por ejemplo: cada uno de los siguientes números naturales 3, 5, 7, 9,…, 501,… son impares, entonces todos los números naturales son impares. En el segundo caso, aumenta el conocimiento, utilizando las argumentaciones de la ciencia o de la vida práctica, como todos los metales se dilatan con el calor. Conviene aclarar que la lógica deductiva no admite los razonamientos inductivos, aunque estos puedan interesar en las ciencias empíricas.

Hecha la observación anterior es claro que la *inducción* genera un problema. El mismo fue estudiado por el filósofo, economista, sociólogo e historiador escocés David Hume, en su obra *Investigación sobre el Entendimiento Humano* (*An*

Enquiry Concerning Human Understanding [1748]). Para él, la *inducción* observa hechos particulares y con ellos infiere hipótesis científicas universales. Pero este modo de relacionar significa que se produce un salto lógico, debido a que las premisas sólo apoyan la conclusión de manera probable.

Conviene tener en cuenta que las inferencias inductivas pasan de lo observado a lo inobservado basándose en las regularidades descubiertas en la naturaleza. Estas últimas se fundan en el *principio de uniformidad de la naturaleza*, el cual supone que las leyes científicas serán válidas en el futuro, lo que significa que lo que ya se había observado en el pasado se volvería a repetir. Por esa razón, frente a causas semejantes le seguirían efectos similares.

Sin embargo, Hume (1988, 55-62) criticó esos razonamientos, basados en supuestas relaciones causales, que permitirían pasar de lo observado a lo inobservado. Él analizó la causalidad para comprobar si ésta efectivamente relaciona los diferentes eventos y así fundamentar esas inferencias. Contrariamente a lo buscado, su conclusión fue negativa y por ello determinó que no se pueden establecer relaciones *a priori*, porque no se puede deducir la constitución de una causa partiendo de su efecto, por ejemplo, al mirar un diamante no se puede deducir que fue producido por temperaturas y presiones muy elevadas.

La costumbre de esperar para el futuro los mismos objetos cotidianos puede inducir la suposición de que el futuro se asemeja al pasado, pero no hay ningún argumento que justifique ese razonamiento. No existe nada que pruebe que esas creencias puedan establecer un conocimiento verdadero. En consecuencia, cualquier intento por justificar la inducción es inductivo. De esta manera, el *problema de la inducción* se reduce a una petición de principio que incluye en una premisa lo que se quiere demostrar en la conclusión, pero siguiendo una serie de pasos que ocultan un razonamiento circular de carácter tautológico.

A propósito de la inducción, el matemático y religioso Thomas Bayes (1702-1761) fue un destacado inductivista muy influido por las críticas de Hume. Este autor pensó que la evidencia

que resulta de observar los hechos no podía fundamentar una generalización o una predicción, pero sí las hacía probables. Se le atribuye el teorema de Bayes, que luego de él tuvo diversas formulaciones. El mismo indica cómo modificar la probabilidad subjetiva de un evento cuando se recibe información adicional del mismo. Por cierto, para la estadística tradicional las probabilidades se basan en experimentos repetibles. En cambio, la estadística bayesiana permite probabilidades subjetivas, que pueden ser revisadas en la medida que cambia la evidencia empírica, como es el caso de diagnosticar un paciente a partir de un conjunto de síntomas, que pueden cambiar. En base a su teoría se han desarrollado notables aplicaciones en diversas áreas del conocimiento, como es el caso en Internet de la detección de correos no deseados (*spam*), o el empleo de dicho enfoque en el análisis de ensayos clínicos de las agencias reguladoras de medicamentos, como la FDA (Gillies y Giorello: 2005, 20).

En el siglo XIX, son reconocidos los inductivistas Herschel, Whewell y Mill, y todos ellos recibieron la influencia de Hume. En primer término, el matemático y astrónomo John Herschel, sostenía que las leyes de la naturaleza se descubren aplicando la inducción y formulando de hipótesis, cuya justificación surge de su confirmación en los hechos. Para realizar esto último alentó a buscar pruebas rigurosas, refutaciones o excepciones a las teorías, antes que Popper. Además, fue el primero en señalar que, para cada hipótesis de un hecho científico nuevo, confirmada por datos experimentales, hay dos contextos claramente distintos, el *descubrimiento* y la *justificación.* Este criterio tuvo vigencia hasta la primera mitad del siglo XX, fue sostenido por el Círculo de Viena y la Concepción Heredada (Perez Tamayo, 1998: 114-116).

En segundo término, el filósofo e historiador de la ciencia Whewell, William, entre sus obra se destacan *Historia de las ciencias inductivas* (1837), *Filosofía de las ciencias inductivas* (1840), *Historia de las ideas científicas* (1858), *Novum Organon Renovatum* (1858) y *La filosofía del descubrimiento* (1860). En ellas defiende una teoría de la ciencia inductiva y

fundamenta su posición apelando a la historia de las ciencias. Su modo de concebir la inducción dista de ser una mera acumulación de hechos, sino que tiene cierto un aire de familia con el método hipotético-deductivo. Este autor sostenía el desarrollo de la ciencia requería ciertas *ideas fundamentales* y que revisando la historia de la ciencia era posible elaborar una lista de ellas. Las que él identifico fueron: espacio; tiempo; causa, que incluía fuerza y materia; la exterioridad de los objetos; los medios para la percepción de propiedades secundarias; polaridad; composición química; afinidad; sustancia; parecido y afinidad natural; medios y fines; simetría; poderes vitales; causa final; y causalidad histórica. Estas *ideas fundamentales* permitían que las personas encontraran sentido y coherencia para comprender el mundo y además, orientaban las sensaciones (Olroyd: 1993, 241-242).

En tercer término, el filósofo y economista John Stuart, Mill, cuya obra *Sistema de lógica raciocinadora e inductiva* (1843). Cabe aclarar que este autor entendía por lógica el proceso de razonamiento considerado en su conjunto y no el razonamiento deductivo, ya que el silogismo no aportaba novedad en las conclusiones, por estar éstas contenidas en las premisas. Su preocupación era cómo se puede pensar el paso desde un hecho hasta otro. Para lograrlo supuso que el razonamiento utilizado en la ciencia lo hacía posible. Por otra parte, y por la influencia que recibió de los sistemas de reglas formulados por Hume y por Herschel, propuso cinco métodos inductivos de: concordancias; diferencia; concordancia y diferencias conjuntas; variaciones concomitantes; y residuos. Los mismos no sólo permiten alcanzar conocimientos probables. Sin embargo, se utilizan en muchas investigaciones científicas, por ejemplo, los métodos de concordancias y diferencias se usan para comprobar la eficacia de medicamentos por parte de compañías farmacéuticas (Bochenski: 1976, 219-223; Olroyd: 1993, 229-233).

Para continuar, en el siglo XX, el filósofo, matemático, lógico y escritor Bertrand Russell hizo de la ciencia una parte central

de su método y filosofía y además, promovió la *Filosofía de la Ciencia* como disciplina separada en la filosofía. Una parte significativa de su pensamiento sobre la ciencia los expuso en *Nuestro conocimiento del mundo exterior* (1914). Su pensamiento influyó en el Círculo de Viena y el Positivismo Lógico.

Con relación a la *inducción*, Russell sostiene en *Problemas de Filosofía* (1912) que ésta incluye dos conceptos importantes: la *uniformidad de la naturaleza* y el *principio de inducción*. Con relación al primero, la ciencia debe descubrir leyes de uniformidad, como las del movimiento o de la gravedad, que sin excepciones han estado vigentes. ¿Pero, existen razones para suponer continuarán así en el futuro? Russell, luego de argumentar sobre el destino de un pollo que luego de ser alimentado diariamente termina siendo una comida, llega a la conclusión de que hay que buscar la probabilidad, antes que la certeza (Russel: 1978, 62).

Mientras que, con relación al segundo, el *principio de inducción*, Russell sostiene que cuando dos hechos se han presentado juntos y nunca por separado, entonces mayor es la probabilidad de que nuevamente se presenten juntos, sabiendo que uno de ellos está presente. Además, para un número suficiente de casos en los que dos fenómenos ocurrieron juntos hará que esa probabilidad se aproxime a la certeza.

El principio de inducción así formulado se relaciona con predicciones como, la que señala que 'el siguiente cuervo observado será negro', que equivale a 'todos los cuervos son negros' (Russel: 1978, 62). Sin embargo, suponiendo que A es el cuervo y B el negro y se aplica el principio de Russell, la conclusión es que es muy probable que A y B 'se presenten juntos en un caso en el que uno de los dos está presente'. Luego, si el objeto es negro, se concluye que probablemente sea un cuervo; la conclusión es falsa porque podría ser otra cosa (Gillies y Giorello: 2005, 14).

La escuela de Cambridge y el Círculo de Viena

El inductivismo implica, la existencia de inferencias inductivas que plantean ciertos interrogantes como: ¿Cuál es la naturaleza de tales inferencias? ¿En qué se diferencian de las inferencias deductivas? ¿Cómo se justifican? Estas preguntas estuvieron entre las reflexiones de la escuela de Cambridge en las primeras décadas del siglo XX y luego ejerció su influencia en el Círculo de Viena, que continuó la labor.

Las indagaciones sobre la inducción y la probabilidad fueron llevadas adelante por un conjunto de filósofos de la ciencia de Cambridge, entre los que se destacan: William Ernest Johnson (1858 - 1931), John Maynard Keynes (1883 - 1946), Harold Jeffreys (1891 - 1989) y Frank Ramsey (1903 - 1930). Todos ellos adoptaron un acercamiento al problema conocido como bayesianismo; teoría que todavía tiene un gran número de adeptos.

Actualmente, la mayor parte de los inductivistas son bayesianos, mientras muchos bayesianos, quizás sean inductivistas en su mayoría. Por esa razón, las dos teorías son frecuentemente colocadas juntas bajo un único rótulo. Sin embargo, éstas deberían separarse cuidadosamente ya que existen diferencias que entre el inductivismo y el bayesianismo. El primero realiza un gran número de observaciones, luego con ese apoyo formula predicciones y generalizaciones mediante un proceso de inferencia inductiva. En cambio, el bayesianismo indica cómo se deben evaluar las generalizaciones y predicciones, en relación con la evidencia disponible a su favor. Además, hay que calcular la probabilidad de las generalizaciones o las predicciones, sobre la base de la evidencia disponible (Gilles et al.: 2005, 19-21).

Con respecto al empirismo lógico, éste fundó el conocimiento científico empírico en la experiencia. Sin embargo, surgió un problema: ¿Si ese tipo de conocimiento científico empírico se obtiene mediante inferencias inductivas que provienen de la observación, cómo se justifican éstas? Tal como se indicó, la respuesta de Russell fue el principio de inducción que le da relevancia al rol de la probabilidad.

Ya se indicó, que Russell y la escuela de Cambridge tuvieron una notable influencia sobre el Círculo de Viena y el

empirismo lógico. Y, pese a las dificultades mencionadas, el principio de inducción fue considerado de fundamental importancia por la mayor parte de los pensadores de cuño inductivista, que plantearon la inducción de manera probabilista con diversas interpretaciones. Así, por ejemplo, Rudolf Carnap (1969, 35-39) sostenía que la tarea principal del razonamiento inductivo era precisar cuantitativamente el grado de confirmación de una ley. En tanto que Hans Reichenbach, del Círculo de Berlín, entendía la inducción como una probabilidad, teoría aceptada por muchos miembros del Círculo de Viena.

Los empiristas lógicos buscaron justificar las inferencias inductivas, estableciendo el principio de inducción. Este último consistiría en un enunciado con cuya ayuda se pudieran presentar dichas inferencias de una forma lógicamente aceptable. Por ese motivo, para los defensores de la lógica inductiva era de máxima importancia disponer del principio de inducción para el método científico.

Etapa deductiva de la ciencia moderna

En el siglo XIX, Carl Gauss (1777-1855), Nikolái I. Lobachevski (1792-1856) y János Bolyai (1802-1860), separadamente, intentaron consolidar la geometría euclidiana, ya que uno de los postulados era menos evidente que los otros y se sospechaba que podía depender de ellos. Como resultado de ese esfuerzo de fundamentación descubrieron las geometrías no-euclidianas, las que también describían el espacio físico con precisión. Naturalmente, ese hecho advirtió que la geometría euclidiana no garantizaba la verdad física sobre bases *a priori*. Este criterio afectó la idea kantiana de que el espacio y el tiempo eran formas puras *a priori* que fundamentaban la geometría euclidiana y la aritmética (Becker: 1966, 199-200; Kline: 2000, 88-90; Gilles et al.: 2005, 97-98).

Cabe agregar que las ciencias demostrativas aristotélicas se apoyaban en los supuestos de deducibilidad, evidencia y realidad. Sin embargo, aunque las nuevas geometrías no eran evidentes, también permitían representar al espacio. Una

consecuencia de esto fue que los principios de evidencia y realidad que debían tener los axiomas de una teoría se volvieron superfluos, y sólo quedó en pié la deducibilidad. Por ello, Bernhard Riemann (1826-1866), discípulo de Gauss, consideraba que la geometría debía tratar del espacio como conjuntos de *n-uplas* ordenadas que se pueden combinar por reglas. En el breve lapso que duró la aparición de las geometrías rivales, la euclidiana pasó a ser sólo una colección de postulados, dejando atrás a la ciencia que había descrito las estructuras inmutables del espacio, por más de dos mil años (Boyer: 1999, 673-675; Kline: 2000, 91-99).

En un primer momento esta situación generó incertidumbre y escepticismo, pero luego condujo a una reflexión profunda sobre los fundamentos de esta ciencia. En efecto, los sistemas de postulados señalados son distintos entre sí y tienen coherencia interna, y por ello son capaces de producir un corpus de teoremas por medio de deducciones correctas. De este modo, el método axiomático, un instrumento para sistematizar la geometría, pasó a ser la vía consciente y crítica para elaborarla. Es más, pronto se extendió a otras ramas de las matemáticas, luego pasó a la física y también a otras disciplinas.

Adicionalmente, a partir de la segunda mitad del siglo XIX, los razonamientos matemáticos comenzaron a justificarse en forma lógica y las disciplinas dispersas se agruparon dentro de sistemas más generales. Con la teoría de conjuntos, deducciones correctas que partían de supuestos sencillos y en apariencia evidentes, desembocan en paradojas y contradicciones. En consecuencia, la atención y los desarrollos se focalizaron en la estructura axiomática de los sistemas y el análisis exacto de conceptos simples en apariencia, alterando así los fundamentos de la matemática. Por ese motivo se la definió como una 'crisis de fundamentos' (Agazzi: 1978, 89; Bochenski: 1949, 32-39).

En el ámbito de la física, los descubrimientos que ocurrieron en el siglo XIX impugnaron la visión de los siglos precedentes. El camino inductivo inicial cedió su lugar al método hipotético-deductivo. En este último, las hipótesis científicas no se

originan en la observación, sino que son creaciones de la mente, propuestas libremente a modo de conjeturas, para explicar mejor los sucesos o fenómenos de la naturaleza, con el requisito excluyente de que los hechos las confirmen para admitirlas. Dicho brevemente, es un método para elaborar hipótesis sobre objetos o procesos que apela a la imaginación, expresa las ideas a veces en lenguaje matemático, y luego corrobora su existencia en la realidad.

Con este procedimiento se descubrieron límites que no existían en el universo infinito newtoniano, como lo indican los siguientes ejemplos: el cero absoluto para la temperatura, deducido por William Thomson (Lord Kelvin, 1824-1897) a partir de una máquina de Carnot; la deducción teórica del electromagnetismo hecha por James Clerk Maxwell (1831-1879) y cuya existencia verificó Heinrich Hertz (1857-1894) 20 años después. Por cierto, las fuerzas electromagnéticas no seguían el comportamiento de las fuerzas mecánicas newtoniana ni tenían su dirección (Agazzi: 1978, 48). Por otra parte, la mecánica relativista encontró el límite de la velocidad de la luz, mientras que la mecánica cuántica comprometió las nociones de continuidad de la materia y la energía.

Es más, en el siglo XIX surgieron nuevas álgebras con fines específicos, que pusieron en duda la verdad matemática, dado que todos esos sistemas no podían representarla simultáneamente. También aparecieron nuevos fenómenos no representables en términos aritméticos. Por ese motivo Hermann Von Helmholtz (1821-1894) consideraba que el problema principal de la aritmética era justificar su aplicación a los fenómenos, pues para él sólo después de la experiencia se podía saber dónde aplicar las leyes. Para que la aritmética fuera aplicable, los objetos no debían desaparecer, fundirse o unirse. Así, por ejemplo, una vaca en adición con otra son dos vacas, pero no ocurría lo mismo con las gotas de agua. Del mismo modo, si se superponía un sonido de 200 ciclos por segundo con otros 100 no se obtenía uno de 300. La adición aritmética tampoco se mantiene cuando se mezclan agua y alcohol (Kline, 2000: 108-109).

Sobre la base de las consideraciones anteriores, muchos científicos advirtieron que sólo se podían ofrecer conjuntos de modelos conceptuales, que hicieran más comprensibles los fenómenos, antes que lograr una representación fiel del mundo. Es el caso de la escuela inglesa de la física de modelos (M. Faraday, W. Thomson, O. Lodge y J. Maxwell), fundadora de la teoría de campos. A esta última adhirió Hertz en su obra *Principios de la mecánica* (1876) donde sostiene que la validez de las afirmaciones de la Física se circunscribe a sectores limitados de la naturaleza. Además, para él, la Física no tenía que elaborar un cuadro exhaustivo de la naturaleza ni penetrar en la esencia de las cosas, sólo debía construir imágenes de los fenómenos (Agazzi: 1978, 49-50).

En 1915, Albert Einstein (1879-1955) presentó su teoría general de la relatividad que describe el espacio físico con la geometría no euclidiana de Riemann. En relación con ello, es oportuno señalar que el movimiento del perihelio de Mercurio presentaba una anomalía. La teoría de Newton no la podía explicar, en cambio la de Einstein sí, y lo hacía con predicciones que estaban dentro de la tolerancia admitida por los astrónomos.

Pocos años más tarde la teoría de Einstein recibió una importante confirmación. En efecto, Arthur S. Eddington (1882-1944) observó un eclipse solar en Islas Príncipe, África, el 29 de mayo de 1919, y fotografió las estrellas que aparecían alrededor del Sol. Estas últimas estaban un poco desplazadas porque su luz se curvaba por el campo gravitatorio solar, de acuerdo con la predicción de la teoría de la relatividad general.

Después de 1920, la teoría general de la relatividad comenzó a considerarse más precisa que la teoría newtoniana, poniendo en evidencia que representar el espacio con una geometría no-euclidiana era más adecuado que hacerlo con una euclidiana. Por cierto, la teoría general de la relatividad postula y describe con mucha aproximación la interacción entre materia y espacio, ya que éste se curva en las proximidades de masas gravitacionales muy grandes, como es el caso del sol. En cambio, la geometría euclidiana sólo

consigue aproximaciones aceptables cuando las distancias son pequeñas y los campos gravitacionales son débiles (Gilles *et al*.: 2005, 105).

Significa entonces que los lenguajes usados en la actividad científica y tecnológica, permiten describir hechos y además, influyen en la estructuración de estos, permitiendo descubrir hechos nuevos, como lo demuestran los trabajos de Lord Kelvin o de Maxwell, ya citados, o los Benoit Mandelbrot (1924-2010), quién con su obra *Fractal Geometry of Nature* (1982) permitió describir los patrones que rigen las rugosidades o las grietas y fracturas en la naturaleza. Más aún, existen posiciones que sostienen que la realidad científica depende del lenguaje construido para examinarla. Por ese motivo la problemática del lenguaje científico es un aspecto de mucha relevancia, para saber que agrega el lenguaje al conocimiento de la realidad (Ströker: 1974, 185-186).

Hipotético-deductivismo y las críticas a la inducción

El método *hipotético-deductivo* se opone al *inductivismo*, en el sentido que las hipótesis científicas no provienen de la observación, sino que son el resultado de la inventiva humana, cuando con ella se busca la solución a un problema. Luego se recurre a la experiencia para contrastar la hipótesis con los hechos.

Sus pasos característicos son: 1) parte de un problema, como la observación de un fenómeno; 2) invención de una hipótesis explicativa del fenómeno; 3) deducción de consecuencias más simples de la hipótesis; 4) comprobación de la correspondencia con la realidad de esa consecuencias; si hay correspondencia se confirma la hipótesis, caso contrario se refuta. Este método combina la reflexión racional de la formación de hipótesis y la deducción de consecuencias, con la observación y verificación en la realidad.

Los orígenes de este método se remontan al origen de la ciencia moderna, debido la necesidad de elaborar hipótesis para explicar el origen de muchas leyes y teorías científicas. Muchos científicos sostuvieron que las hipótesis científicas no

provenían de la observación, sino que eran creaciones humanas, para ver si los hechos de la naturaleza quedaban mejor explicados, en el supuesto de admitirlas. Naturalmente, el requisito para su admisión fue siempre la confirmación en los hechos. El método en su formulación definitiva y su difusión se atribuye a Karl R. Popper, en su obra *La lógica de la investigación científica* (1934). Cabe aclarar, que el método que propone Popper atenúa la confirmación de hipótesis y enfatiza la refutación, motivo por el cual se lo denomina '*falsacionismo*'.

Con relación al *inductivismo* tuvo dos críticos importantes. Uno fue Pierre Duhem (1906, 317-320), que demostró que la teoría de la gravitación universal de Newton no pudo ser obtenida por inducción y generalización de las leyes de Kepler. Sus contribuciones más importantes a la filosofía de la ciencia fueron las críticas contra el inductivismo de la ciencia clásica y la importancia que le dio a la observación, a la que consideraba 'cargada de teoría'. El otro es Karl Popper, sostenedor del método hipotético-deductivo, cuya posición crítica frente a la inducción dio lugar al falsacionismo.

Popper (1980, 27-30) se opuso a la lógica inductiva aplicada a la ciencia y propuso en su lugar el uso de la lógica deductiva (deductivismo). Él sostiene que por muy elevado que sea el número de enunciados singulares es lógicamente cuestionable inferir de ellos enunciados universales, porque puede resultar falsa la conclusión. Esto significa que no está justificado inferir que 'todos los cisnes son blancos', aun habiendo observado un elevado número de ellos. Dicho de otro modo, una afirmación general es falsa si contradice una oración singular que describe una observación. Por ejemplo, si la locución 'aquel cisne es negro' es verdadera, ésta produce la prueba final de la falsedad de la sentencia universal 'todos los cisnes son blancos'.

El mismo Popper sostiene que la obra de Hume explicita las incoherencias y dificultades que surgen cuando se admite el principio de inducción, ya que debe ser un enunciado universal. Si se acepta que es verdadero por experiencia, su justificación requiere usar inferencias inductivas, a su vez,

para justificar a éstas hay que suponer un principio de inducción de orden superior, y así sucesivamente. En consecuencia, se cae en una regresión infinita inevitable y así se derrumba el intento de fundamentar el principio de inducción en la experiencia.

Resulta oportuno indicar que todas las observaciones y experimentos, aun los más amplios, son repeticiones finitas solamente. Por esa razón, un enunciado de ley del tipo 'B depende de A' siempre trasciende la experimentación. Sin embargo, estos enunciados se hacen de manera generalizada y frecuentemente con muy poco material. Dicho de otro modo, el problema de la inducción nace del hecho que: 1) la ley trasciende la experimentación, ya que no se puede justificar con observaciones o experimentos; 2) la ciencia formula y usa leyes de manera generalizada y son pocos los casos observados para estipularla; 3) en ciencia empírica, sólo la observación y la experimentación deciden la aceptación o rechazo de enunciados, leyes o teorías. Luego, pareciera que el choque aparente de estas tres razones constituye el problema lógico de la inducción (Popper: 1995, 114-116).

Si bien Popper coincide con Hume sobre la falta de justificación de la inducción y su inutilidad, sin embargo, discrepa de él, en que ésta es una necesidad, porque es un error pensar que hombres o animales recurren a la inducción o a otro argumento basado en la repetición de casos. Para Popper, la inducción se confunde con el método de prueba y eliminación del error que también es iterativo, pero con una estructura lógica muy distinta. Es más, se trata de un método que no produce ninguna de las dificultades vinculadas al problema de la inducción (Popper: 1995, 116-117).

Conclusiones

La inducción completa aristotélica, que revisa todos los elementos de un conjunto finito y la inducción individual universal implícita hegeliana, donde cada objeto tiene un patrón que se repite en todos los elementos del conjunto, permiten inferencias verdaderas o verosímiles.

La inducción incompleta baconiana permite realizar inferencias posiblemente verdaderas, pero no necesariamente, ya que entre las instancias observadas y la generalización se produce un salto, donde los intentos por superarlos caen en razonamientos circulares.

En la ciencia moderna se pueden distinguir dos etapas. En la primera predomina el método inductivo baconiano que generaliza a partir de observaciones, y se extiende desde el renacimiento hasta el siglo XIX. La segunda se da continuación y predomina el método hipotético deductivo, donde se proponen hipótesis generales que luego son contrastadas empíricamente.

Referencias:

Agazzi, Evandro (1978). *Temas y problemas de filosofía de la física.* Barcelona: Herder.

Agazzi, Evandro ed. (1984). *Storia delle Scienze.* Vol. I. Roma: Città Nuova.

Aristóteles (1982). Tratados de Lógica (Organon). Madrid: Gredos.

Becker, Oskar (1966). *Magnitudes y Límites del Pensamiento Matemático*. Madrid: Rialp.

Bochenski, Józef Maria (1976). *Los métodos actuales del pensamiento*. 11ª ed. Madrid: Rialp.

Carnap, Rudolf (1969). *Fundamentación lógica de la física*. Buenos Aires: Sudamericana.

Corcoran, John. "Demostración por recursión". En Audi, Robert, ed. (2004). *Diccionario Akal de Filosofía*. Madrid: Akal.

Duhem, Pierre (1906). *La Théorie physique. Son objet et sa structure.* Paris, Chevalier & Rivière.

Galilei, Galileo. (1997) *Il Saggiatore*. Progetto Manuzio, Associazione Culturale Liber Liber.

Geymonat, Ludovico. (1985). *Historia del pensamiento filosófico y científico*. Siglo XX. (vol. II). Barcelona: Ariel.

Gillies, Donald; Giorello, Giulio. (2005). *La filosofia della scienza nel XX secolo.* 6ta. ed. San Donato Milanese: Laterza.

Kline, Morris (2000). *Matemáticas. La pérdida de la Certidumbre*. 5ª ed. México: Siglo XXI.

Koyré, Alexander. (1994). *Pensar la Ciencia*. Barcelona: Paidós.

Mosterin, Jesús y Torretti, Roberto (2002). Diccionario de Lógica y Filosofía de la Ciencia. Madrid: Alianza.

Muñiz Rodríguez, Vicente. (1989). *Introducción a la filosofía del lenguaje. Problemas ontológicos*. Barcelona: Anthropos

Olroyd, David. (1993). *El arco del conocimiento. Introducción a la historia de la filosofía y metodología de la ciencia.* Barcelona: Crítica.

Pérez Tamayo, Ruy (1998). *¿Existe el método científico? Historia y Realidad.* México, Fondo de Cultura Económica.

Popper, Karl. (1980). *Lógica de la Investigación Científica* (*Logik der Forschung*, [1934]). 5ª ed. Madrid: Tecnos.

Popper, Karl. (1995) *Popper. Escritos Selectos*. (*Popper Selections* [1985]). Miller, David cp. México D.F.: Fondo de Cultura Económica

Russell, Bertrand (1978, [1912]). *Los problemas de la filosofía*. Barcelona: Labor.

Salatino, Dante Roberto (2017). *Tratado de lógica transcursiva: origen evolutivo del sentido en la realidad subjetiva*. 1a ed. Godoy Cruz, Mendoza: Dante Roberto Salatino, Libro digital, PDF.

Skyrms, Brian. "Inducción". En Audi, Robert, ed. (2004). *Diccionario Akal de Filosofía*. Madrid: Akal.

Ströker Elisabeth. "El problema del lenguaje en las ciencias exactas" (185-225). En: Simon, Josef (comp.) (1974). *Aspectos y problemas de la filosofía del lenguaje.* Buenos Aires: Alfa.

Valenzuela, Rodrigo C. (1978). *Limitaciones matemáticas de los métodos de computación.* Santiago de Chile, Editorial Universitaria.

* * *

32

Por una perspectiva pragmática y dialógica de la modelización de sistemas abiertos

Rolando Rebolledo, Juan Redmond

Resumen: El objetivo del presente trabajo es esbozar una propuesta de fundamentación filosófica para la modelización de sistemas abiertos desde la perspectiva interactiva y lúdica del pragmatismo dialógico.

Palabras Clave: Sistemas abiertos, teoría de juegos, filosofía, estocástica.

1. Introducción

El concepto de Sistema Dinámico Abierto (SDA) se ha usado desde larga data en Física y Biología (cf. [Bertalanffy 1968], [Pessa 2018]). Sin embargo, sólo comenzó a emerger como teoría en Matemáticas alrededor de los setenta. Los sistemas dinámicos abiertos incluyen los sistemas llamados complejos. En términos simples, un sistema dinámico abierto considera una parte de la Naturaleza cuya dinámica se quiere estudiar, sin aislarla del medio que la rodea. Es decir, la descripción considera la dinámica interna del llamado sistema principal, aquella del recipiente o entorno y la dinámica de la interacción entre ambos. Entre las formulaciones matemáticas de estos conceptos, las obtenidas mediante procesos estocásticos (clásicos y cuánticos) se revelan como las más satisfactorias. Estas han incluido a la vez conceptos y métodos heredados de la Teoría de la Medida, de Probabilidades, Análisis Funcional, Teoría de Operadores, como también nuevas ramas de la Matemática como la Teoría General de Procesos, los Semigrupos Markovianos cuánticos, la Información Cuántica (cf. [Rebolledo 2003, 2005], [Kossakowski 2005]).

Como resultado, el término Análisis estocástico acuñado en la década de 1970-1980, aparece como una síntesis o envolvente apropiada para describir una aproximación interdisciplinaria al estudio de los sistemas dinámicos abiertos.

Diferentes escalas espaciales y temporales se entrecruzan en la descripción de los sistemas abiertos. En efecto, la definición de la relación sistema principal—recipiente en el estudio de un fenómeno, fija escalas espaciales y temporales de referencia, que permiten establecer relaciones de orden entre las evoluciones de los diferentes sub-sistemas. Es así que decimos que un subsistema está en una escala macroscópica res-pecto a otro si el primero está en una escala espacial mayor o bien si los tiempos de retorno al equilibrio del primero son más largos que los del segundo (el segundo "evoluciona más rápido").

Es también diferente el análisis de un sistema principal consistente de un individuo al de otro constituido por un número mayor. Además, entre estos últimos, es particularmente importante el caso en que diversas relaciones se establecen entre los subsistemas del sistema principal, generando redes en evolución.

Los sistemas dinámicos abiertos plantean nuevos desafíos tanto matemáticos como filosóficos y, a justo título, se puede decir que fundamentan la utilización de los procesos estocásticos en su modelado. El Análisis Estocástico en pleno desarrollo permite abordar los sistemas abiertos generados por una familia de fenómenos en Biología, en particular en Ecología, y en Física, por ejemplo en Óptica Cuántica y Teoría de la Información Cuántica (cf. [Rebolledo 1997, 2001a, 2001b, 2004]).

Algunos de los problemas contemporáneos de la teoría de SDA y en los cuales nos focalizaremos son los siguientes: La ausencia de un análisis filosófico sobre el azar y la causalidad desde un enfoque de sistemas abiertos. Es decir, ausencia de un análisis del azar y la causalidad desde un enfoque filosófico que represente y fundamente los sistemas físicos o biológicos como sistemas abiertos. En este sentido, es necesario un enfoque que permita caracterizar la dinámica de adaptabilidad y cambio que se manifiesta en los intercambios entre el llamado sistema principal y el entorno: dinámica/juego dinámico; contenido/información; protocolos/etc. Se trata de

capturar la fluidez input-output de los sistemas abiertos (juegos de información). Este análisis requiere responder a varias preguntas intermedias. Por ejemplo, entre otras: ¿Qué es la adaptabilidad (etapas de evolución)?; ¿Cómo se caracterizan los flujos de información?; ¿Qué es el equilibrio?

Una hipótesis tácita de nuestra propuesta es que los fenómenos naturales no pueden ser estudiados de forma aislada, sino que existe una unidad dialógica (interactiva) entre el movimiento específico en estudio y su entorno. Y en este sentido es que nos proponemos elaborar una fundamentación pragmático-filosófica de la modelización de fenómenos naturales no aislados como sistemas abiertos desde la perspectiva semántica lúdica del pragmatismo dialógico. En efecto, creemos que es posible elaborar una perspectiva lógico-lúdica y dinámica de los sistemas abiertos que dé cuenta de las nociones fundamentales de los fenómenos naturales no aislados: sistema principal y entorno, observables, estados, flujo de información y equilibrio.

2. Azar. Causalidad y sistemas abiertos

Una rápida mirada a la etimología de la palabra azar en Español nos la muestra aso-ciada a la voz árabe zahr (flor) de donde deriva az-zahr juego de dados así llamado porque el as se representaba con dicha flor. Hay registros de que el término azar para designar el juego de dados ya se usaba en España en 1283. Un sinónimo importante es alea de donde deriva aleatorio, la suerte, también asociado con el juego de dados.

Otro sinónimo de importancia que devela una concepción profundamente diferente es la voz griega *stokhos* (objetivo, blanco en el juego de los dardos) de donde se derivó stokhastikos, que apunta bien, hábil para conjeturar y que generaría el adjetivo estocástico puesto en uso en Matemáticas en 1953). El uso más familiar del término azar se refiere a la ocurrencia de un suceso inesperado, es decir, sin plan deliberado o si hay ignorancia absoluta sobre las condiciones determinantes de su ocurrencia.

De manera un poco más flexible, se puede también aplicar la denominación a un hecho que aparece en la intersección de dos cadenas causales independientes. Así, podemos relativizar el concepto: un suceso es un hecho de azar o contingente relativamente a un contexto dado de investigación, si el enunciado que afirma su aparición no deriva de ningún otro. Todas estas acepciones ya estaban presentes a principios del siglo XX cuando Poincaré expresaba en Ciencia y Método [1908] la idea de una causalidad probabilitaria. Según él, la noción de azar no es tanto debida a nuestra ignorancia, sino que más bien a una falta de apoyo empírico o experimental que permita abarcar una multiplicidad de causas y efectos posibles. Es decir, los fenómenos naturales gozan de una determinación múltiple que extiende la relación causa-efecto expresada, por ejemplo, en la mecánica newtoniana. La causalidad no es la relación más general entre partes de la Naturaleza. Para algunos, entre ellos Popper, se trata de un principio de orden metafísico (sobre el cual él no toma partido):

> *"Yo no acepto ni rechazo el "principio de causalidad". Me limitaré simplemente a excluirlo como "metafísico" de la esfera de la ciencia ([Popper 1959], p. 61). "*

El pensamiento dialéctico e interactivo incorpora una categoría más amplia que la del mencionado principio de causalidad: la interdependencia, o conexión universal, del cual causa y efecto no son más que momentos, aspectos que la expresan de manera incompleta. Causalidad clásica y determinismo clásico son abstracciones que corresponden a condiciones ideales. Es sólo en los sistemas completamente aislados y muy simples que se pueden verificar las relaciones "lineales" de causa a efecto (cf. [Rahman & Redmond 2015]).

Pero el objeto aislado es una idealización que, según creemos, no se corresponde con la realidad. Lo concreto está siempre en relaciones multiformes con su medio. Las cadenas de causa a efecto se entrecruzan y la interacción mutua crea efectos nuevos. La posibilidad ideal de aislar un fenómeno llevó a Pascal a introducir el concepto de sistema (cerrado). Ese concepto es apropiado para el análisis de un sistema

mecánico aislado en la física newtoniana. Sin embargo la Naturaleza muestra que los sistemas cerrados se agotan en sí. Sólo un sistema abierto, en el cual se consideren dialécticamente ligadas una parte y su relación con el conjunto de la Naturaleza, puede considerar adecuadamente la evolución de los fenómenos. (cf. [Rebolledo 2012-2013]).

En nuestra perspectiva apuntamos al rol activo y transformador de los sujetos o agentes en un contexto donde este último quiere conocer la Naturaleza. Al modo como el sujeto que lanza dardos a una diana no deja todo librado a la suerte. En efecto, el sujeto transforma la naturaleza para conocerla bajo la hipótesis de que toda observación del sujeto perturba lo observado. En este sentido el Modelo de Kolmogorov -apropiado para el primer tipo de dinámica- no representa de modo efectivo y pertinente los fenómenos naturales abiertos en el marco de una intervención transformadora de un sujeto que quiere conocer la naturaleza.

3. Adaptabilidad, equilibrio y flujos de información

Un enfoque lúdico-dialógico de los sistemas abiertos conlleva la elaboración de un enfoque idóneo para la práctica de modelización de sistemas dinámicos no aislados. En este sentido proponemos modelos como artefactos (cf. [Redmond 2011]) pues permiten representar porciones de la realidad no observadas, ya que son construidos sobre principios dialógico-dinámicos de adaptabilidad y cambio. Esto hace posible al mismo tiempo una lectura del proceso desde la noción de flujo de información. En efecto, consideraremos los objetos naturales no aislados representados de acuerdo al enfoque pragmático de la Dialógica como funciones cuyas características fluyen en el tiempo sin perder su identidad.

Gracias a su dimensión pragmática, el enfoque dialógico resulta un contexto óptimo para implementar metodológicamente el concepto de objeto semoviente y las dinámicas que lo caracterizan. Una de las consecuencias de este enfoque es que el estado ontológico de los objetos puede variar en un proceso dinámico pero sin perder su identidad.

Respecto del equilibrio, ganaría una base filosófica desde el pragmatismo dialógico pues este último proporciona un marco de formalización de dinámicas de flujo (desde el análisis lúdico) idóneo para el estudio de casos relevantes tratados en física a este respecto, a saber, el equilibrio como un estado cuya producción de entropía es nula, o equivalentemente, que satisface ecuaciones de balance detallado que aseguran reversibilidad.

Al mismo tiempo consideramos que, como toda práctica científica que conduce a nuevos conocimientos, es necesario -por un lado- dar los fundamentos epistémicos y epistemológicos de la modelización artefactual de sistemas abiertos. De ese modo podremos dar cuenta de cómo se ganan y fundamentan estos nuevos conocimientos sobre fenómenos no aislados desde modelos como sistemas abiertos, y -por otro- explicitar los compromisos ontológicos (realistas o irrealistas) asumidos en este proceso. En este sentido creemos que el enfoque filosófico del pragmatismo lúdico posee las herramientas y los contenidos necesarios para esclarecer y fundamentar este proceso y así ayudar a responder a estos interrogantes.

Al respecto cabe señalar que la representación mediante modelos entendidos como sistemas abiertos debe dar cuenta de ciertos fenómenos que se resisten a ser capturados por otros sistemas (cerrados). Representar los fenómenos como sistemas abiertos nos abre una puerta a la elaboración de una perspectiva nueva sobre el azar y la causalidad. Usaremos la perspectiva de Knuuttila de los modelos como artefactos (cf. [Knuuttila 2013, 2011, 2016, 2017]) y enriquecida con una base lógica lúdica que permitirá captar fenómenos como sistemas abiertos.

En términos generales uno de nuestros puntos de partida fundamentales es que el enfoque dinámico y lúdico de las lógicas interactivas es efectivo y apropiado para el objetivo que nos proponemos en nuestra investigación. Nos permitirá dar nuevos contenidos al análisis de sistemas abiertos, ya que proporciona los medios no solo para estudiar el razonamiento

que involucra objetos semovientes o, más en general, con fenómenos no aislados, sino que también es un marco que permite estudiar la dinámica propia de los sistemas abiertos otorgando un fundamento epistemológico para la comprensión de los procesos dinámicos que caracterizan a estos modelos en su contexto: adaptación, interacción, flujo de información con el medio, simulación, etc.

4. Una propuesta desde el pragmatismo dialógico

En el seno de la lógica matemática del siglo XX, surgió un conjunto de técnicas, conceptos y resultados que constituyeron una suerte de paradigma en el cual la idea de inferencia lógica es un caso particular de la interacción entre los participantes de un diálogo crítico. Como ya ha sido remarcado en los trabajos de Per Martin-Lóf ([1996]), el vocabulario filosófico presenta a menudo la siguiente ambigüedad: un mismo término designa a la vez una acción y el contenido o resultado de dicha acción. Es el caso, entre otros, de “razonamiento” y “proposición”. Johan van Benthem (cf. [1994]) señala que esta ambivalencia, que oscila entre un polo “estático” (el contenido) y otro “dinámico” (la acción), confirma las diferentes representaciones de lo que debe ser la tarea propia de la lógica y la filosofía.

Para la tradición de la lógica matemática que culmina en la perspectiva de Frege, la lógica es el estudio de una estructura compuesta de proposiciones y de relaciones entre esas proposiciones (la de consecuencia lógica es la más importante). Pero a partir de los años treinta, una nueva corriente piensa que la teoría de la significación y de los contenidos de pensamiento (tradición estática), debe ir acompañada de la teoría del acto de pensar o de significar (punto de vista dinámico).

La estructura proposicional que es objeto de la tradición estática, se define semánticamente como una estructura booleana, donde las proposiciones son consideradas como valores de verdad y las constantes lógicas como operadores sobre esos valores. Sintácticamente, como un álgebra de signos puros sobre los cuales operamos vía reglas de cálculo.

La existencia de tales estructuras es considerada como un hecho matemático, y su adecuación para dar las normas del razonamiento como una evidencia. Por ello, en esta perspectiva, con palabras de van Benthem:

> *"...el énfasis reside en el hecho de "que" o de "si" ciertas oraciones son verdaderas respecto de una situación, pero no tanto de "cómo" llegaron ellas a ser consideradas como verdaderas"* [1994].

La cuestión de hacer del "cómo" el interrogante principal de la lógica, posee consecuencias importantes, tanto filosóficas como técnicas. Es aquí, justamente, donde la lógica intuicionista entra en juego en tanto que es ella la primera tentativa de desarrollar estas consecuencias. En efecto, hay al menos dos principios que son considerados como válidos para la lógica clásica pero que se presentan como problemáticos para quienes pretenden considerar el modo de aprehensión de la verdad de un enunciado por un sujeto de conocimiento: el primero es la doble negación, el segundo es el tercero excluido.

El primero es el núcleo de un modo de inferencia crucial en matemáticas: el razona-miento por el absurdo. Deducir A a partir de su doble negación, según los intuicionistas, genera problemas que conciernen directamente el cuantificador existencial: podemos mostrar por el absurdo la existencia de entidades matemáticas sin necesidad de exhibirlas o de construirlas, lo cual pone en cuestión la significación del cuantificador. Parece más razonable, si lo que nos interesa es el modo de aprehensión de la verdad de un enunciado, exigir que la condición de reconocimiento de la verdad de un existencial sea la capacidad de determinar un valor particular para la variable cuantificada, de tal modo que el enunciado de la formula correctamente instanciada sea verdadero.

Respecto del tercero excluido, el argumento que demuestra su validez esconde una sutileza inaceptable para los intuicionistas: la demostración de la disyunción principal es realizada sin que ninguno de los dos miembros de la disyunción sea probado. Lo razonable, argumentan, es que la

demostración se lleve a cabo como una demostración por un miembro o por el otro (tal y como es definido el comportamiento de una disyunción en teoría de la demostración). En otras palabras: la demostración del tercero excluido se apoya en el razonamiento por el absurdo, o en una estructura más compleja en la cual no se tiene en cuenta la demostración de los componentes de la disyunción. Como bien lo remarca Dummett ([1997]), si no queremos considerar una teoría de la verdad de modo independiente de una teoría del modo de reconocimiento de esa verdad, el tercero excluido resulta inaceptable puesto que nos fuerza a considerar en una demostración la existencia de demostración que no poseemos. Por todo esto, el lógico que decide tener en cuenta el reconocimiento de la verdad, bajo la forma de una teoría de la construcción de demostraciones o de una epistemología de los medios de verificación, es conducido sin retraso a modificar su concepción de las leyes de la lógica, lo que da lugar a las lógicas no clásicas. Sin embargo, el desarrollo de la lógica intuicionista encuentra una dificultad mayor de orden semántico. Para la estructura proposicional que es objeto de estudio de la lógica clásica, se proporciona una noción de semántica desarrollada a partir de los trabajos de Alfred Tarski ([1983]) y conocida como teoría de modelos.

Esta teoría se hace cargo de la noción de verdad vía la noción de referencia: a partir de una función de interpretación de términos individuales y de predicados, es posible hacer explícito el valor de verdad de un enunciado relativo a la estructura. Pero, aquí lo problemático, la definición tarskiana de modelos presupone la validez del tercer excluido y, por tanto, la lógica intuicionista emerge como un cálculo puro sin que se le pueda asociar una semántica entendida en el sentido de una teoría de la referencia (una semántica referencialista). En este sentido, la lógica dialógica desarrollada por Paul Lorenzen nace directamente de la intención de dar a la lógica intuicionista una semántica propia. En general tenemos dos tradiciones que afirman implementar la noción de juegos de lenguaje en lógica. Por un lado, la lógica de Lorenzen y Lorenz (cf. [1955, 1958, 1978]) que nació

directamente de la intención de dar a la lógica intuicionista una semántica propia. Por otro, la semántica de juegos de Hintikka (la GTS=semántica de juegos), con un origen independiente.

5. Lógica Dialógica

Focalizar en la dimensión procedural de la demostración que consta en el trabajo de elaboración de una lógica intuicionista nos da la pista siguiente: es necesario interpretar los enunciados a través de la noción misma de demostración. Esta idea dio origen a la interpretación BHK (L.E.J. Brouwer, Arend Heyting y Andrey Kolmogorov, los tres padres fundadores de la lógica intuicionista y de las matemáticas constructivas) de la lógica intuicionista. Lo que está en cuestión aquí es saber hasta qué punto es posible que la noción de demostración, que normalmente está ausente de las prácticas lingüísticas corrientes, pueda otorgar una semántica a los enunciados. Y es, en efecto, en la noción de diálogo donde Lorenzen y Lorenz (cf. [1958]) encuentran el concepto que permite explicar el significado de las constantes lógicas, guardando intactas las intuiciones lingüísticas corrientes y remarcando la importancia de la dimensión procedural y epistémica de la noción de demostración. Los diálogos son juegos de lenguaje matemáticamente definidos para que establezcan la interface entre la actividad lingüística concreta y la noción formal de demostración. Dos interlocutores (proponente y oponente) intercambian movimientos que son concretamente actos lingüísticos. El proponente enuncia una tesis, la tesis del diálogo, y se compromete a defenderla respondiendo a todas las críticas del oponente. Las críticas permitidas son definidas en términos de la estructura de los enunciados afirmados en el diálogo. Por ejemplo, si un jugador afirma la conjunción A y B, al mismo tiempo concede al adversario la posibilidad de elegir uno de los dos y de exigirle que lo afirme. La noción misma de afirmar se encuentra definida por el contexto de la interacción crítica: afirmar significa compro-meterse a proporcionar una justificación a un interlocutor crítico. Pero en diálogos no hay una teoría general de la justificación sino sólo en la medida en

que se trate de enunciados lógicamente complejos que encuentran su justificación a partir de enunciados simples. A su vez, los enunciados simples se justifican en acción recíproca con el interlocutor crítico. Esto es, según exhorta la regla, el proponente podrá considerar justificado un enunciado elemental, si y solamente si el oponente ha concedido esa justificación. Esta regla confirma la formalidad de los diálogos: el proponente gana sin presuponer justificaciones por ningún enunciado particular. Cabe agregar que esta última restricción en un diálogo crítico posee un precedente en las prácticas de formación teórica de Aristóteles, al momento de escribir los Tópicos y las Refutaciones sofísticas recuerda la siguiente cita:

> *"En cuanto a mí, no creo haber formulado ninguna conclusión que valga la pena acerca del asunto de nuestra disputa, a menos que no te reduzca a que te presentes tú mismo a rendir testimonio de la verdad de lo que digo; y tú creo que nada podrás alegar contra mí a menos que yo, que estoy solo, declare en tu favor y que no asignes importancia al testimonio de los otros. He aquí, pues, dos maneras de refutar: la una la que tú y otros creéis verdadera, y la otra la que yo, por mi parte, juzgo verdadera.*" [1992], 472b-c.

Esta forma de refutación se encuentra, mutatis mutandis, en la lógica dialógica: la tesis no es considerada como formalmente justificada sino a condición de que esa justificación sea producida en función de la significación de constantes lógicas y de las justificaciones elementales concedidas por el adversario. En definitiva lo que tenemos con la dialógica es una semántica para la lógica intuicionista, esto es, una teoría del significado que no es una teoría de la referencia.

6. Pragmatismo dialógico y sistemas abiertos

Uno de los puntos de partida más importantes en nuestro trabajo es que no es posible representar fenómenos naturales no aislados si no se fundamenta filosóficamente la práctica misma de modelización de sistemas abiertos a partir de una noción adecuada de modelo que tenga en cuenta las peculiaridades de su dinámica, fluidez e interactividad. Para esto último combinaremos las nociones de objetos semovientes y conceptos fundamentales del análisis

estocástico con la noción de modelos científicos como artefactos, tal y como ha sido desarrollado en el enfoque del pragmatismo dialógico (cf. [Rahman & Redmond 2015], [Redmond 2011]).

El desafío es entonces dar un enfoque lúdico a los procesos de modelización en ciencia que representan sistemas abiertos. En este sentido creemos que el enfoque lógico lúdico que emerge desde el pragmatismo dialógico, se revela como el marco teórico idóneo para el estudio de las dinámicas propias de procesos fenoménicos no aislados. De allí se desprenderá un fundamento epistemológico para la comprensión de os procesos dinámicos que caracterizan a estos sistemas en su contexto: adaptación, interacción, flujo de información con el medio, simulación, etc.

El punto de vista artefactual nos permitirá dar condiciones de identidad y referencia a modelos de objetos abstractos dinámicos. Esto último lo consideramos idóneo para la determinación de condiciones de identidad y referencia de sistemas abiertos que presentan un carácter dinámico similar. En ese sentido las contribuciones serán tanto de un punto de vista argumentativo, dando una lógica de base para establecer un sistema inferencial propio a estos sistemas abiertos, como también de un punto de vista epistemológico dando un marco teórico de base idóneo para presentar, explicar y gestionar estos procesos de modelización de porciones de la realidad que requieren de una heurística especial.

7. A modo de conclusión

El objetivo del presente trabajo fue defender la elaboración de un enfoque lógico-lúdico y dinámico de los sistemas abiertos que dé cuenta de las nociones fundamentales de los fenómenos naturales no aislados: sistema principal y entorno, observables, estados, flujo de información y equilibrio. De este modo ganaríamos una conceptualización pertinente de la causalidad y del azar y sus leyes, basada en una interpretación de la naturaleza como sistema abierto con su dinámica de interacción e interdependencia. Para eso último

resulta primordial la fundamentación de los conceptos básicos del análisis estocástico para la modelización de fenómenos naturales, desde un enfoque lógico, lúdico y dinámico (teoría de juegos) de los sistemas abiertos y que al mismo tiempo permita responder a los interrogantes en torno a presupuestos ontológicos y epistemológicos puestos en juego al momento de realizar simulaciones computacionales de fenómenos naturales no aislados como sistemas abiertos.

Sobre la base de lo anterior propondríamos una perspectiva de modelos como artefactos estocásticos basada en un enfoque lúdico de los procesos dinámicos de interacción (teoría de juegos) y que permita representar fenómenos naturales no aislados como sistemas abiertos.

Referencias

Alfred Tarski. *Logic, Semantics, Metamathematics*. Hackett, Indianapolis, 1983.

Eliano Pessa (eds.) Gianfranco Minati, Mario R. Abram. *Towards a Post-Bertalanffy Systemics*. Springer, 2018.

Henri Poincaré. *Science et Methode*. Paris: Flammarion, 1908.

Juan Redmond. *Logique dynamique de la fiction: pour une approche dialogique.* Cahiers de logique et Epistémologie, College publications, 2011.

K. Popper. *The Logic of Scientific discovery*. London:Hutchison, 1959.

Kossakowski Andrzej and Rebolledo Berroeta Rolando. *On non-markovian time evolution in open quantum systems*. 2005.

Ludwig Von Bertalanffy. *General System Theory: Foundations, Development, Applications*, New York: George Braziller 1968

Martin-Lof. Per. On the meanings of the logical constants and the justifications of the logical laws. *Nordic Journal of Philosophical Logic*, 1(1):11-60, 1996.

Michael Dummett. *Elements of Intuitionism*. Oxford, 1977.

P. Lorenzen and K. Lorenz. *Dialogische Logik*. Wissenschaftliche Buchgesellschait, Darmstadt, 1978.

P. Lorenzen. *Einführung in die operative Logik und Mathematik*. Springer, Berlin, 1955.

P. Lorenzen. *Logik und agon.* In Arti del XII Congresso Internationale de Filosofia, pages 187-194, Venezia, 1958. Sansoni.

Platón. *Gorgias*. Biblioteca Clásica Gredos, 1992.

Redmond, Juan, López-Orellana, Rodrigo (2018). *Lógica clásica y esquizofrenia: por una semántica lúdica*. Revista de Filosofía 74, pp. 197-223.

Rolando Rebolledo. *Complejidad y azar*. Cuadernos de Filosofía, (30-31):104-119, 2012-2013.

Rolando Rebolledo. *Complete positivity and open quantum systems. In Stochastic analysis and mathematical physics*, pages 101-132. Birkhauser, Boston, MA, 2001.

Rolando Rebolledo. *Decoherence of quantum markov semigroups*. 2003.

Rolando Rebolledo. Decoherence of quantum markov semigroups. In *Annales de l'Institut Henri Poincare (B) Probability and Statistics*, volume 41, pages 349-373. Elsevier, 2005.

Rolando Rebolledo. *On the recurrence of quantum dynamical semigroups.* Proc. ANESTOC, 96:130-141, 1997.

Rolando Rebolledo. Open quantum systems and classical trajectories. In *Stochastic Analysis And Mathematical Physics*: (SAMP/ANESTOC 2002), pages 141-164. 2004.

Rolando Rebolledo. Quantum interacting particles related to the exclusion process. *Aportaciones Mat.*, Soc. Mat. Mexicana, 16:271, 2001.

Shahid Rahman and Juan Redmond. A dialogical frame for fictions as hypothetical objects. *Filosofia Unisinos*, 16(1):2-21, 2015.

T. Knuuttila and A. Loettgers. Basic science through engineering: Synthetic modeling and the idea of biology-inspired engineering. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 44:158-169, 2013.

Tarja Knuuttila. Imagination extended and embedded: artifactual versus fictional accounts of models. *Synthese*, 2017.

Tarja Knuuttila. Modeling and representing: An artefactual approach. *Studies in History and Philosophy of Science*, 42:262-271, 2011.

Tarja Knuuttila. Modelling as indirect representation? the lotka-volterra model revis-ited. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 68(4):1007-1036, 2016.

Van Benthem Johan. *General dynamics. What is a logical system?* 1994.

* * *

33

La Innovación Tecnológica y el Pensamiento Objetivo

Juan Ernesto Calderón

Resumen: La innovación tecnológica es un elemento esencial para el desarrollo. Sin embargo, el análisis metodológico y epistemológico de la innovación tecnológica y su relación con la ciencia y la tecnología no ha sido suficientemente tematizado. El objetivo de la presente contribución es indagar qué tipo de conocimiento es la innovación tecnológica usando la teoría popperiana de los tres mundos. Esta teoría permitirá: 1) mostrar cómo el mundo es transformado por el pensamiento y cómo ese proceso es una continua retroalimentación; 2) entender el papel del conocimiento científico en la innovación tecnológica y su ubicación dentro del pensamiento objetivo.

Palabras Clave: Pensamiento; pensamiento objetivo; desarrollo; innovación tecnológica.

1. Introducción

Al menos en lo discursivo, la lucha contra la marginalidad y la pobreza es una prioridad en los programas de los diferentes partidos políticos. Dentro de esta lucha, siempre se menciona la necesidad del desarrollo, para lo cual la innovación tecnológica es un elemento esencial. Una innovación tecnológica es un invento el cual tiene un impacto social y económico. En otras palabras, no se trata sólo de fabricar un nuevo producto o un nuevo proceso, sino de que el producto o proceso sea exitoso en el entorno socio económico. Así planteada, las innovaciones tecnológicas relacionan dos aspectos: el resultado de un desarrollo teórico y experimental con el impacto transformador de dicho desarrollo. Claro que esta relación, se invierte a la vez, haciendo que el impacto de un desarrollo lleve a nuevos desarrollos.

Esta relación de mutua interacción no aparece específicamente tematizada y analizada desde el campo de la

metodología y la epistemología. Sobre esta base, el objetivo de la presente contribución es indagar cómo se produce el proceso de innovación tecnológica usando la relación popperiana entre pensamiento y mundo sensible. Estas categorías nos permitirán:

1) mostrar cómo el mundo se transforma por el pensamiento y cómo ese proceso es una continua retroalimentación;

2) entender el papel del conocimiento científico en la innovación tecnológica, a través de la epistemología evolucionista de Popper.

Para esto, señalaremos la caracterización estándar de ciencia, técnica e innovación tecnológica. Segundo, se trabajarán las nociones popperianas de pensamiento objetivo, de epistemología evolucionista y de los tres mundos. Por último, valiéndonos de las concepción popperiana se explicará la retroalimentación entre ciencia tecnología e innovación.

2. Invento e innovación

En el mundo contemporáneo la ciencia y la tecnología se retroalimentan permanentemente. Este hecho obliga a repensar cuál es papel de la investigación en cada una de las etapas. La llamada investigación básica es aquella en la cual se busca conocer independientemente del impacto que ese sabe tenga en el mundo. Se trata de la forma tradicional de entender la ciencia y está vigente desde la época de Aristóteles.

La investigación técnica o aplicada es el conjunto de actividades destinadas a descubrir o aplicar conocimientos que puedan generar productos o procesos que se puedan utilizar. Este saber también reconoce una larga historia y está asociada a la producción. Tradicionalmente este saber era inferior porque apuntaba a lo individual y no a lo universal. Su resultado tenía que ver con lo mudable y perecedero, y no con lo universal y necesario de la ciencia.

La modernidad, a diferencia de la Edad Antigua, le reconoce estatuto científico a la tecnología. En esta etapa empieza a

generarse la sinergia entre ciencia y tecnología y con ella la necesidad de pensar la relación entre ambos tipos de conocimiento. El saber científico sale de su estado contemplativo para transformar el mundo. Con anterioridad la técnica recorría caminos distintos de la ciencia. Pensemos en la tecnologías artesanales. Se incluyen aquí aquellas tecnologías cuyo origen es antiguo, que no utilizan medios sofisticados para su ejecución, la cual se efectúa, por lo general, de forma manual. Ej. la carpintería; y en la tecnologías tradicionales, las que no han tenido un fundamento científico, sino que han ido evolucionando por el ingenio de los que las ejercían y la experiencia adquirida en el transcurso del tiempo. Ej. la tecnología textil (Sánchez Gegarra, 2004, 20).

La tecnología impacta el mundo transformándolo. Por ello actualmente el análisis de la tecnología y del saber tecnológico se amplía con la idea de desarrollo y de innovación tecnológica. Estos conceptos tratan de marcar el impacto de un desarrollo tecnológico en la sociedad. Un invento no es per se una innovación. Un invento o un proceso nuevo es una innovación cuando impacta en la sociedad, ya sea a nivel de éxito comercial o de transformación de la realidad. Sánchez Cegarra (2004, 127) plantea la innovación de la siguiente forma:

Idea + Investigación + Desarrollo + Producción + Venta = INNOVACIÓN

La innovación implica una serie de elementos que van más allá de un desarrollo tecnológico, evaluando el impacto del mismo. Desde el punto de vista del análisis metodológico implica el esfuerzo de entender dónde debe ser colocado en relación con el resto de los saberes.

3. El pensamiento objetivo

Si nos preguntamos por el estatuto epistemológico del saber tecnológico, lo primero es indagar cuál es su naturaleza. Intuitivamente, podemos caracterizarlo como un saber que tiene su origen en la mente de algún ser humano o un grupo

de humanos. Sus causas se encuentran en factores internos o externos. Los primeros son propios de la naturaleza creativa de la imaginación humana, los segundos tienen que ver con factores que rodean al hombre y las necesidades que lo llevan a buscar respuestas innovadoras y superadoras de los problemas. Este origen, sin embargo, no debe hacernos creer que el conocimiento tecnológico sea algo subjetivo propio de cada ser humano. El conocimiento tecnológico trasciende a los a los que lo idearon y se vuelve independiente de los que lo originaron. Así caracterizado, el saber técnico es un pensamiento objetivo, en el sentido de Popper.

Según la clasificación de Popper (1979, p. 106) se debe diferenciar entre tres mundos o universos. El primer mundo está constituido por los objetos y estados físicos, el segundo mundo representa los estados de conciencia y las disposiciones de la conducta. El tercer mundo es donde aparece el pensamiento científico, el pensamiento poético y las obras de arte. El tercer mundo es, a diferencia del segundo, el mundo del "pensamiento objetivo". La epistemología tradicional (desde Descartes hasta Russel) ha puesto énfasis, según la lectura popperiana, en el estudio del segundo mundo o el mundo del conocimiento subjetivo y ha dejado de lado el tercer mundo o el mundo del conocimiento objetivo, el cual es autónomo e independiente (Popper, 1979. p. 108).

Para aclarar su postura, Popper toma la definición de pensamiento de Frege (1974, p. 36): "Por pensamiento entiendo no el hacer subjetivo del pensar, sino su contenido objetivo, que es capaz de ser propiedad común de muchos". El pensamiento es real ya que actúa en nosotros y desde nosotros sobre el mundo exterior. Esta capacidad del pensamiento, que en sí mismo es inmutable, imperecedero y no puede ser afectado por el sujeto que lo 'aprehende', es, según Frege, la condición necesaria para conocer 'algo' del mundo exterior. Todo lo contrario ocurre donde el pensamiento trabaja consigo mismo. En lógica y en matemática no necesitamos salir al mundo exterior, y, por lo

tanto, se puede juzgar con absoluta seguridad (Frege, 1974, p. 238).

En el caso de Popper (1979, p. 116), el pensamiento también existe en forma independiente del sujeto "Nosotros podemos decir que hay una clase de tercer mundo platónico de libros en sí mismos, teorías en sí mismas, situaciones problemáticas en sí mismas, argumentos en sí mismos, …". Pero este tercer mundo no debe concebirse como algo sobre-humano, o dado en una instancia trascendente a él. El tercer mundo es un producto humano (Popper, 1979, p. 116), por lo cual el hombre no 'aprehende' el pensamiento como sostiene Frege, sino que "La estructura objetiva (aim-structure) de los animales y de los hombres no es 'dada', sino que se desarrolla con la ayuda de la misma clase de mecanismo de retroalimentación (feed-back) de objetivos anteriores que se persiguieron o no" (Popper, 1979, p. 117).

4. La evolución del conocimiento

Para explicar el desarrollo del conocimiento, Popper se vale de la teoría de la evolución. Al igual que todos los seres vivos, el hombre debe adaptarse para sobrevivir. Pero la adaptación no es igual. "*La evolución del animal* procede en gran medida, aunque no exclusivamente, de la modificación de órganos (o comportamientos), o del desarrollo de nuevos órganos (o comportamientos). *La evolución humana* procede, en gran medida, del desarrollo de nuevos órganos *fuera de nuestros cuerpos o personas*: 'exosomáticamente', como los biólogos lo llaman, o 'extra - personalidad'. Estos nuevos órganos son herramientas, o armas, o máquinas, o casas" (Popper, 1979, p. 238).

Dentro de todas las creaciones humanas, el lenguaje ocupa el lugar más importante. Esto se ve claramente cuando Popper analiza las diferencias y similitudes entre el lenguaje humano y el lenguaje animal "El lenguaje animal y el lenguaje humano tienen muchas cosas en común, pero también hay algunas diferencias: como todos sabemos, las lenguas humanas

trascienden el lenguaje animal" (Popper, 1979, p. 230). En este sentido, Popper distingue cuatro funciones del lenguaje; las dos primeras, la función expresiva y la función de representación o señalización del lenguaje, son las funciones inferiores del lenguaje y las comparte el hombre y el animal. Mientras que las dos funciones superiores, la función descriptiva y la función argumentativa, sólo se dan en el hombre (Popper, 1979, pp. 235-236).

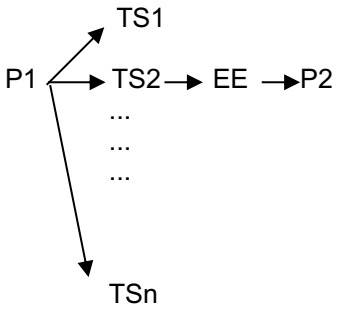
La función argumentativa representa, para Popper, primero, la última en surgir dentro de la escala de la evolución y, segundo, la más poderosa forma de adaptación con la que cuenta el ser humano. Comprende, en consecuencia, la posibilidad que tiene el hombre para postular hipótesis o soluciones tentativas en aras de resolver los problemas que se le presentan.

5. Esquema del crecimiento del conocimiento

A partir de lo dicho, se puede constatar que tanto el hombre como el resto de los seres vivos comparten la misma necesidad por sobrevivir. Pero el conocimiento humano, debido a la racionalidad, es una forma radicalmente diferente de adaptarse al medio. La racionalidad constituye la diferencia esencial entre la evolución del hombre y la evolución del animal. Planteado en un esquema (Popper, 1979, p. 243):

$$P \rightarrow TS \rightarrow EE \rightarrow P$$

Donde '**P**' significa el problema inicial del cual se parte, '**TS**' (tentative solutions) son las soluciones tentativas que se formulan frente al problema, '**EE**' (error-elimination) representa la etapa en la cual se prueban y se eliminan las soluciones insatisfactorias y, por último, '**P**' que comprende el nuevo problema que surge a partir del proceso. En este esquema, aparece una sola solución tentativa para cada problema. Pero, dada la gran multiplicidad de soluciones tentativas posibles, el esquema debe ser ampliado (Popper, 1979, p. 243):



Se puede observar que el esquema empieza con un problema y termina con otro problema. El nuevo problema es producto del proceso que tuvo lugar a partir del surgimiento del primer problema, y de las soluciones tentativas y de la eliminación de errores. El nuevo problema es el resultado de la evolución del conocimiento humano. De ahí que, para Popper, existe una relación necesaria entre la aparición de los problemas y el crecimiento del conocimiento. "Debemos asumir que la conciencia crece desde pequeños comienzos; quizá su primera forma es un vago sentimiento de irritación experimentado cuando el organismo tiene un problema para resolver, como el de deshacerse de una sustancia irritante" (Popper, 1979, p. 250). Pero además, el hombre, a diferencia del animal, no sólo reacciona sino que también puede anticipar posibles formas de reaccionar.

El conocimiento humano se genera a partir de problemas, frente a los cuales el hombre, a lo largo de la historia, ha ido planteando diferentes hipótesis o conjeturas para solucionarlos y que representan lo que Popper llama 'conocimiento objetivo' o 'tercer mundo'. El conocimiento objetivo no se debe considerar como una instancia ajena al mundo sensible o primer mundo. Todo lo contrario, el tercer mundo se constituye a partir del contacto del hombre con el primer mundo, a la vez que lo modifica ejerciendo un control sobre él.

La evolución del conocimiento se muestra, en consecuencia, como un permanente avance del mismo hacia problemas cada vez más importantes y complejos. Los nuevos problemas fuerzan, por decirlo de alguna manera, al hombre a buscar nuevas soluciones, mediante hipótesis más audaces, y nuevas formas de eliminar los errores, a través de pruebas más precisas. El conocimiento objetivo no puede ser considerado como una mera forma de adaptación al medio, sino que significa un acercamiento constante a la verdad, entendida como una idea regulativa (Stokes, 1999, p. 240).

6. Conclusión

El desarrollo y la innovación tecnológica conllevan un plus sobre el conocimiento científico y tecnológico entendido en un sentido clásico y moderno. La innovación también debe ser significativa desde el punto de vista económico y social. Por eso si preguntamos ¿cómo crea el hombre las innovaciones tecnológicas? La respuesta es a través del método de ensayo y error. Frente a los problemas el hombre plantea hipótesis que luego deben ser contrastadas críticamente. Esa contrastación en el caso de las innovaciones tecnológicas tiene que ver con el impacto en sentido amplio de un desarrollo y su compleja evaluación. Las innovaciones tecnológicas al igual que todo el conocimiento humano aumentan progresivamente por el permanente ejercicio de la crítica, pero nunca puede agotar la realidad. La verdad es una idea regulativa: el conocimiento científico tiende a ella, pero no puede llegar a ella definitivamente. Las innovaciones tecnológicas corren la misma suerte: nunca son definitivas y están sujetas a permanentes cambios y replanteos.

Popper toma la definición de pensamiento de Frege pero operando sobre ella un cambio radical. El pensamiento es autónomo del sujeto, pero, a la vez, se produce a partir del contacto del hombre con el mundo sensible. Por esto, la propuesta popperiana aporta elementos de suma importancia para abordar la compleja relación pensamiento – mundo sensible, tomando como hilo conductor la teoría de la evolución. La teoría de la evolución permite explicar el

dinamismo del conocimiento, no sólo como forma de adaptación al medio sino también como forma de transformación del mismo. Los desafíos de hoy nos muestran cómo esta relación en el ámbito de las innovaciones tecnológicas es un *feedback* permanente entre pensamiento y mundo sensibles. Por ello se debe entender que las innovaciones tecnológicas son objetos del tercer mundo que influyen y transforman el primer mundo o mundo de los objetos sensibles.

Referencias

Frege, G. (1974) *Escritos Lógicos Semánticos*, Madrid, Tecnos.

Popper, K. (1994) *La lógica de la investigación científica*. Madrid, Tecnos.

Popper, K (1985) *Realismo y el objetivo de la ciencia*. Madrid, Tecnos.

Popper. K (1992) *El desarrollo del conocimiento científico. Conjeturas y refutaciones*. Bs. As., Paidós.

Popper, K. (1979) *Objective Knowledge. An Evolutionary Approach*. Oxford, Oxford University Press.

Sanchez Cegarra, J. (2004) *Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica*. Madrid, Editorialedigrafos

Stokes, G. (1999) *Popper. Philosophy, Politics and Scientific Method*. Cambridge, Blackwell.

* * *

34

Los Modelos y las Funciones de la Analogía

Luis Eduardo Gómez

Resumen: En el presente trabajo se describen los modelos y su relación con las analogías de un modo general o introductorio. El objetivo buscado es ofrecer una concepción de los modelos y las analogías, que sea más abarcativa que las vigentes. Se presenta una estructura para los modelos en general y para dos tipos de modelos en particular: el *científico* y el *tecnológico*. Se describen parcial y escuetamente, y con este antecedente se establece un *metamodelo heurístico* que cumple dos funciones: contribuye al abordaje de las complejidades que presentan los modelos, y mediante analogías facilita la construcción y la evaluación de modelos novedosos. Finalmente, se presentan seis *funciones de las analogías* en relación con la ciencia y la tecnología.

Palabras clave: Modelos científicos y tecnológicos, metamodelo heurístico, funciones de las analogías.

En el presente trabajo se describen los modelos y su relación con las analogías, de un modo general o introductorio. El objetivo buscado es ofrecer una concepción de los modelos y de las analogías, que sea más abarcadora que las vigentes. Con este fundamento se establece un metamodelo heurístico que cumple dos funciones: contribuye al abordaje de las complejidades que presentan los modelos, y mediante analogías facilita la construcción y la evaluación de modelos novedosos.

Noción ampliada de los modelos

Desde un punto de vista amplio, un modelo es una estructura (**E**), más o menos compleja, que representa simplificadamente un conjunto de características, comportamientos o relaciones de un objeto o sistema de objetos (**O**), bajo cierta perspectiva **(P)**, en ciertas condiciones (**C**), con algún fin (**F**), mediante un método **(M)** para un conjunto de agentes (**A**) que producen o usan el modelo.

$$M = \langle E,P,O,C,A,F,M \rangle$$

La *estructura* (**E**) de un modelo es el conjunto de sus relaciones internas que lo constituyen como tal. Las relaciones consideradas aquí son intelectuales, abstractas(1). La estructura es el componente que identifica al modelo. Puede ser corregida, mejorada. Hasta un límite, más allá del cual deja de ser tal modelo. Incluye aspectos estáticos y dinámicos.

La *perspectiva* **(P)** es el punto de vista o enfoque desde el cual se construye el modelo. El *objeto formal* o formalidad epistémica es el enfoque o "modalidad" que define una ciencia o cualquiera de sus especialidades. También se suele hablar de la perspectiva implícita en un entorno de trabajo, en el cual hay un marco categorial, y teórico que predetermina el modo de abordaje de los temas o problemas. Puede entrar en composición con la mirada epistemológica, la especialidad profesional, etc.

El *objeto* **(O)** es toda construcción intencional que es determinada por un sujeto o agente inteligente (A), y que se inscribe en el modelo como el tema a conocer, el problema a resolver, la relación cognitiva entre elementos (estáticos o dinámicos), el conjunto de aspectos tenidos en cuenta como variables centrales del asunto. Este objeto-modelo es una "versión simplificada" del tema, y representada de una o varias maneras que faciliten su comprensión y tratamiento. Se pretende que el objeto-modelo esté claramente definido. Por lo que se prefiere incluir términos cuantitativos o cuantificables y evitar el uso de términos ambiguos y polisémicos.

El objeto puede ser ideal o real, simple o complejo, individual o general (particular o universal), estático o dinámico, atemporal o temporal, regular o irregular, determinado a priori o a posteriori, dependiente o independiente, etc. Puede ser la representación de una totalidad o de un aspecto de la misma como sus características, estados, relaciones, interacciones, potenciales (secuencias de) aplicaciones, efectos, etc.

Dicho objeto tiene un significado y una referencia para los agentes del modelo, quienes lo constituyen como tal, bajo ciertas condiciones, mediante un lenguaje, y una serie de procedimientos para su validación y su utilización (M).

Los *agentes* del modelo **(A)** son aquellas personas que le dan origen así como quienes lo ajustan o corrigen, quienes lo utilizan y los que son afectados. Los productores y usuarios frecuentes de diversos tipos de modelos son la comunidad académica: los docentes, los investigadores, los estudiantes, los productores: los desarrolladores, los fabricantes y emprendedores, los tecnólogos: ingenieros, economistas, médicos, odontólogos, gerentes, abogados, enólogos, administradores, militares, veterinarios y otros. Pueden incluirse aquellos agentes inteligentes no humanos, como algunos sistemas de inteligencia artificial, y también los ciberhumanos

La *metodología* **(M)** comprende el conjunto de procedimientos y estrategias empleados en las diversas etapas del ciclo de vida de un modelo. Abarca el proceso de modelación completo. Incluye el diseño, los ajustes, y el modo en que se implementa el modelo para asegurar los resultados previstos (R) para el cumplimiento del fin (F).

Los modelos se diseñan con al menos un *fin* **(F)** que con frecuencia es puntual, específico. El fin es la utilidad que el modelo brinda al agente (A) que lo emplea: le permite construir algo, tomar decisiones, solucionar problemas, evitarlos, anticiparlos, evaluarlos, emprender proyectos y desarrollarlos.

Las *condiciones* **(C)** aluden a todas las variables relacionadas directamente con el modelo, que pertenecen a la situación física y principalmente al ámbito social que en mayor o en menor medida intervienen en la producción, evaluación, implementación y modificación de todo modelo. Por lo tanto, forman parte de todo modelo los niveles de análisis Ético, Cultural, Político, Histórico, Social, y Económico. Incluye el modo de vida, la visión del mundo, y un sistema de valores con sus concepciones y su jerarquía, que predomina en una sociedad, en un momento histórico determinado. Los ámbitos educativo y jurídico, son parte del factor cultural.

Tipos de modelos

En relación con los objetos, los modelos pueden ser científicos, tecnológicos, técnicos, o artísticos. Se hará referencia a los dos primeros.

1) Un ***modelo científico*** se define operacionalmente como una estructura **(E)** fundada en una teoría **(T)**, que pretende representar de manera simplificada un objeto **(O)** desde una perspectiva **(P)** para un agente **(A)** que la utiliza para obtener los fines o resultados **(F)** mediante un conjunto de procedimientos **(M)** en un entorno o contexto dinámico **(C)**.

$$M = \langle E,T,P,O,A,M,F,C \rangle$$

La estructura **(E)** en un modelo científico está fundada en (o es deducida de) una teoría científica y en bases de información empírica y experimental (T). (E) y (T) son la esencia del modelo, la solución del problema.

Las relaciones estáticas y dinámicas se expresan o comunican de modo verbal, gráfico, procedimental (p.e. computacional), o físico. La estructura *verbal* está dada por el lenguaje propio de la ciencia o tecnología de que se trate. La estructura (E) es un componente formal, estructural, lógico-matemático o sintáctico (CF) del modelo (Gómez, 2015,76). El lenguaje matemático se destaca por su claridad, economía y precisión. También por sus potencialidades de cálculo y de representación tanto verbal como *gráfica* y procedimental. Por ello es preferido para construir los modelos. Hasta tal punto que 'modelo' (o el núcleo de un modelo) se ha hecho sinónimo de modelo matemático, y es una estructura conjuntista. La representación de las relaciones estructurales del modelo a nivel sintáctico se logra con éxito mediante el lenguaje matemático. Por su parte, los modelos físicos o empíricos son estáticos (p.e. planos, maquetas, estatuas, mapas, redes) o dinámicos (p.e. música, danzas, lenguaje mímico y pantomímico, simulaciones computacionales).

El componente teórico **(T)** de los modelos alude a la teoría y leyes que le dan origen, es decir, que el modelo interpreta. Pero también se refiere al núcleo experimental y estadístico, de proposiciones observacionales y datos validados que dan raigambre empírica al modelo. En línea con esto, se incluyen hipótesis

de segundo y tercer grado que no hayan sido refutadas y que puedan ser de utilidad, según la perspectiva (P) para alcanzar algún fin.

La base de conocimientos teóricos relacionados con el modelo es la que permite comprender, describir, explicar, y predecir, así como diseñar, proyectar y gerenciar instancias del tema u objeto investigado con fundamentos generales. Por ese motivo, afirmamos que la teoría (T) no sólo es parte del componente formal (CF) sino también del *componente significativo o semántico* (CS). El CS es el conjunto de significados filosóficos, científicos, tecnológicos y técnicos contenidos en el modelo. Comprende todos los conocimientos que integran el marco teórico del modelo y su base empírica, esto es, las condiciones (generales y de excepción) en que el modelo cumple su función (Gómez, 2015,76). Las teorías se representan como estructuras lingüísticas y cognitivas que describen o explican los temas.

El *sistema-objeto* **(O)** representa el tema o problema que desde una perspectiva (P) y para una finalidad (F) se pretende resolver con el modelo. El modelo pretende ser una re-creación, reproducción o representación de un objeto (natural o social) desde una teoría (T) por medio de un lenguaje matemático (ideal, a priori) o de un lenguaje social (histórico, contingente). En este componente se incluyen las bases de datos que sirven de soporte empírico para la elaboración y la evaluación de las hipótesis.

Todo modelo es implementado según cierta metodología **(M)** o con determinada estrategia. Pero el agente tiene la oportunidad de mejorar el modelo siguiendo estándares de eficacia o de eficiencia. El proceso de refinamiento que se hace al modelo se llama *modelación.* Consiste en el análisis de las relaciones y la aplicación de algoritmos de solución. Se produce la realimentación de la comprensión y la implementación del modelo en función de los resultados que se obtienen y de la evaluación de los mismos. Cuando el modelo es un medio que permite alcanzar los fines propuestos, el modelo es exitoso. En otras palabras, si satisface el fin buscado, es eficaz.

Las *simulaciones* de diverso tipo son parte de este componente. El modelado y la simulación implican un concepto y un proceso de diseño de un modelo de un mundo real o de un modelo predictivo (anticipado), y luego realizar experimentos con el modelo para comprender el rendimiento del sistema en diferentes condiciones operativas y evaluar estrategias alternativas de gestión y toma de decisiones. El modelado y la simulación se integran como una metodología de investigación científica y tecnológica.

El componente metodológico no sólo incluye los procedimientos de implementación y uso, sino que también incorpora la función *evaluativa* **(V)** que incluye los criterios, procesos, escalas y normas o protocolos de valoración y corrección. Esto permite el proceso de modelación, que hace modificaciones al modelo para ajustarlo a los entornos para los que fue diseñado. Se trata de lograr un modelo *óptimo* (u optimizado) tal que no sólo alcanza los fines sino que lo hace de la manera mejor y más simple: es *eficiente*. Y la eficiencia es una de las características que distinguen la tecnología de la técnica (y de la mala tecnología).

Y si además permite la intervención del agente-usuario para tomar decisiones en parte de los ajustes, para que algunos de estos sean automáticos pero otros contemplen sus preferencias y gustos, entonces es un modelo *inteligente*.

Los *fines* **(F)** primarios en función de los cuales se crean y se utilizan los modelos científicos son comprender, describir, explicar, y predecir, instancias del tema u objeto investigado. Mediatamente, también se buscan las aplicaciones: fabricar, controlar o modificar dichos objetos. Obviamente, todas estas metas se inscriben en otras cadenas de fines de tipo económico, político, y ético. El *componente operativo o pragmático (CO)* es la dimensión instrumental de un modelo, se relaciona con el conjunto de fines y de los modos para alcanzarlos (Gómez, 2015,77).

Los modelos científicos también sirven para (F) interpretar los datos experimentales, dándoles un significado y un valor (cognitivo y social), en función de un conjunto de hipótesis (T) vinculadas con un problema (O) y un contexto (C). En la investiga-

ción científica los modelos son herramientas y, como tales, se pueden considerar más o menos útiles en los procesos (M) de justificación y de aplicación de teorías (modelación interpretativa).

El *entorno* (C) del agente (A) es de tipo social, cultural, histórico, económico y ético, y sus complejos aspectos e interrelaciones establecen las condiciones en que se implementará (M) el modelo de este tipo. El entorno se puede interpretar como el contexto en el cual surgen los modelos y también como el ámbito en el cual se enseña a interpretarlos y construirlos (contexto educativo) y en que se aplican (contexto de aplicación). Por ejemplo, el soporte cultural de las hipótesis fácticas (T) consiste en su compatibilidad con alguna concepción del mundo (C), y en particular, con la prevaleciente en una sociedad y momento. Este soporte adquiere mayor importancia en la dimensión heurística del modelo (Bunge, 1992).

Las creencias (religiosas, políticas, incluso científicas) establecidas en una sociedad operan como axiomas o dogmas que condicionan y restringen el desarrollo de los modelos y de la ciencia en general. Durante la edad media europea, los modelos científicos tenían que ser deducibles de, o compatibles con, ciertas creencias religiosas (C), aunque ello significara la pérdida de la referencia empírica (O).

A su vez, algunas corrientes epistemológicas ponderan la relación entre la estructura y la teoría **(E-T)**, mientras que otras ponen de relieve el vínculo entre la estructura y los objetos **(E-O)**. Por ejemplo, para el *estructuralismo*, un modelo científico es una interpretación de una teoría científica, de modo que todos los enunciados de la teoría sean verdaderos en el modelo. Las dificultades del proyecto estructuralista contribuyeron a que la orientación representacionalista haya tenido un mayor impacto, y en las ciencias y las tecnologías los modelos se conciben como representaciones simplificadas de un aspecto de la realidad que facilitan su conocimiento.

2) Un ***modelo tecnológico*** (2) es una estructura **(E)** *cognitiva* y *operativa*. Es un sistema *cognitivo* **(T)** en tanto describe, ex-

plica, y predice **(M)** algunas características o comportamientos de un sistema-objeto **(O)**, con (al menos) un fin **(F)** y un enfoque **(P)** especial, cuya implementación **(D)** produce como resultado **(R)** conocimientos, bienes y servicios útiles para un conjunto de personas **(A)**, en un contexto social, histórico y ético **(C)**.

$$M = \langle E,T,P,O,A,M,D,F,C,R \rangle$$

Un modelo tecnológico es también una estructura *prescriptiva* que requiere destrezas o competencias *técnicas* **(D)** orientada a (F) diseñar, construir, gerenciar, controlar y modificar objetos y procesos (O) en diversas ramas de actividades, como el comercio y la industria. Las habilidades técnicas **(D)** requeridas a los agentes (A) pueden variar. Los desarrolladores de estos modelos pueden carecer de algunas destrezas que se les pide a los usuarios de los mismos.

El desarrollo de modelos tecnológicos se lleva a cabo con el auxilio de instrumentos de hardware y de software inteligente, lo que requiere el desenvolvimiento de nuevas habilidades para su manejo (D). Actualmente se está incrementando la interacción productiva en red, de agentes inteligentes humanos entre sí y con agentes inteligentes virtuales, computarizados. Un robot inteligente semiautónomo ha sido colocado hace pocos años, por primera vez en la historia (R), sobre un cometa que viaja en el espacio para recabar datos del mismo (A).

Dos ejemplos pueden ilustrar el tipo (E) y utilidad de los modelos tecnológicos. A nivel *procedimental* son muy útiles los lenguajes de modelado de objetos como UML (*Unified Modeling Language*: Lenguaje Unificado de Modelado), que es un lenguaje gráfico de tercera generación que emplea diversos tipos de diagramas (los principales son los de estructura y comportamiento), que muestran diferentes aspectos de las entidades representadas.

Otro ejemplo: Para solucionar el problema de que las redes utilizaban diferentes especificaciones e implementaciones y por ello no podían intercambiar información, surgió el modelo de interconexión de sistemas abiertos, o "*modelo OSI*" (Open

System Interconnection) creado en 1980. Es un *modelo de referencia* para los protocolos de red de computadoras. No es una arquitectura de red, sino un modelo de conexión.

Si los modelo son herramientas, su valor es operativo. Un modelo tecnológico es evaluado por su costo, sus potencialidades, y sobre todo por su utilidad o eficiencia, esto es, la aproximación de los resultados obtenidos (R) a los fines deseados (F) en las condiciones consideradas (C).

El valor ético de un modelo se vincula con su contribución al bien individual-común y superior de los seres humanos. Se mide dicho aporte por su contribución para el mejoramiento de la calidad de vida para el mayor número de personas en una sociedad dada (Gómez, 2015, 79).

Modelos y analogía

El razonamiento analógico permite el conocimiento probable de un objeto (el objetivo o dominio novedoso) fundado en la transferencia de la semejanza (o contraste) de propiedades o de relaciones del mismo con otro (la fuente o dominio mejor conocido), establecido en las premisas. La misma noción de verdad semántica presupone relaciones cognitivas fundadas en la analogía. (Gómez, 2013, 24-6). La analogía es un método (M), un instrumento de la ciencia y de la tecnología.

> *"La analogía es una herramienta indispensable e inevitable para el progreso científico. [...] No me refiero a la metáfora; no me refiero a alegoría; ni siquiera quiero decir similitud; sino que me refiero a un tipo especial de similitud que es la similitud de la estructura, la similitud de la forma, una similitud de constelación entre dos conjuntos de estructuras, dos conjuntos de detalles, que son manifiestamente muy diferentes pero tienen paralelos estructurales. Tiene que ver con la relación y la interconexión."* (Oppenheimer,129)

La analogía se usa tanto en ciencias fácticas como formales.

> *"El centro de gravedad de un segmento de recta homogéneo coincide con el de sus dos puntos extremos. El centro de gravedad de un triángulo homogéneo coincide con el de sus tres vértices. ¿Por qué no sospecharíamos que el centro de gravedad*

de un tetraedro homogéneo coincida con el de sus cuatro vértices? Por otra parte, el centro de gravedad de un segmento de recta homogéneo divide la distancia entre sus dos puntos extremos según la razón 1:1. El centro de gravedad de un triángulo divide la distancia entre uno de sus vértices y el punto medio del lado opuesto según la razón 2:1. ¿Cómo no sospechar que el centro de gravedad de un tetraedro homogéneo no divida a la distancia entre uno de sus vértices y el centro de gravedad de la cara opuesta según la razón 3:1?" (Pólya, 63).

Una analogía destaca una proporción de relaciones entre objetos 'proporcionables'. Cuando tienen contenido semántico, los términos de objetos no pueden ser cualesquiera ni pueden tomarse al azar. Todo lo contrario, tienen que compararse los objetos en función de parámetros significativos comunes.

El problema del razonamiento por analogía es que la verdad de sus premisas no garantiza la verdad de su conclusión. Su credibilidad depende en parte de la *relevancia* de sus contenidos significativos, y finalmente de la *prueba* con éxito de la conclusión. Hay *criterios de evaluación* de analogías que contribuyen a determinar su robustez, su solvencia, su firmeza, su "fortaleza" inferencial (*soundness*). Uno de ellos es el siguiente:

"La conclusión por analogía sacada de un gran número de casos paralelos es más sólida que la conclusión deducida de casos menos numerosos. Sin embargo, la calidad es aquí también más importante que la cantidad. Analogías precisas tienen más peso que vagas similitudes, ejemplos sistemáticamente clasificados cuentan más que una fortuita colección de casos." (Pólya, 62).

La analogía se puede emplear junto con la abducción, como un método por el cual se buscan situaciones-problemas semejantes al que se quiere actualmente solucionar, y se evalúan las mejores posibilidades de adaptación de las estructuras, los objetos y los fines buscados, de las respuestas exitosas encontradas para esos otros problemas, relacionados con los aspectos constitutivos del problema vigente.

Como se dijo, los modelos son herramientas, esto es, son intermediarios para soluciones a problemas de diverso tipo. En la medida que un modelo "representa" a su objeto, aunque sea de forma simplificada, contribuye a su conocimiento. El éxito de dicha representación se *constata* (M) a nivel teórico y experi-

mental, y es el fundamento pragmático de la verdad del modelo.

La utilidad cognitiva del modelo, en tanto instrumento, es el grado de su correspondencia o analogía cognitiva con un plexo de relaciones que tienen como referente real algún aspecto de la realidad empírica, y como analogado formal una teoría, de la cual el modelo es una interpretación. Si hay un alto grado de correspondencia comprobada entre los resultados (R) que describe o prescribe un modelo y su objeto (O), lo que sucede en la realidad, entonces hay una relación de analogía ontológica entre dicho modelo y la parte de la realidad que refiere.

Y, a su vez, si se supone que la realidad que el modelo describe exitosamente es estructuralmente (E') análoga a otra (E) que no ha sido investigada suficientemente, se puede considerar como una hipótesis plausible que el nuevo modelo teórico puede ser análogo epistemológicamente al ya validado **(E≈E')**.

Se podría adoptar como *criterio* en este sentido que problemas con características *relevantes* **(O)** semejantes pueden ser modelados con estructuras formales **(E)** también semejantes. De modo que si hay que buscar la solución a un problema, se puede suponer, por analogía, que un prometedor espacio de búsqueda (*heurística*) de estructuras relacionales **(E')** puede ser el de los modelos que contengan características relevantes **(O')** semejantes, es decir, que formen parte del analogado-fuente.

Se puede buscar conjuntamente un paralelismo en las teorías junto con las estructuras. Si para un problema-meta **(O)** que encontró un fundamento teórico **(T)** en un modelo-base, se encuentra un problema-fuente **(O')** con características *relevantes* semejantes **(O≈O')** podría suponerse por analogía que se puede encontrar una explicación encontrando o construyendo una teoría-fuente **(T')** paralela **(T≈T')**.

La analogía en los objetos (O y O') se ve altamente favorecida por la amplitud, precisión y actualización de la base de conocimientos teóricos (T) y de bases de datos empíricos vinculadas (O referentes de T). El método de Descubrimiento de Conocimiento en Bases de datos o *Knowledge Discovery in Databa-*

ses (KDD) combina procedimientos estadísticos con la inteligencia artificial, sistemas de bases de datos, y aprendizaje automático (*Machine Learning*) para alcanzar nuevos conocimientos.

La analogía también está presente en los métodos (M).

> *"Un método desarrollado en una rama de la ciencia puede muy a menudo aplicarse para la descripción de sucesos de naturaleza, en apariencia, totalmente distinta. En este último proceso, los conceptos originales sufren modificaciones que los hacen más apropiados para explicar los fenómenos que les dieron origen, además de interpretar los nuevos hechos, a los que por analogía o generalización se están aplicando."* (Einstein & Infeld, 38).

Keynes (1921) y Hesse (1966) distinguen entre analogías positivas, neutrales y negativas. Para Hesse, las *analogías positivas* se refieren a las propiedades (conocidas) que los análogos tienen en común, las *analogías negativas* se refieren a las diferencias (conocidas) y las analogías *neutrales* se refieren a propiedades cuya semejanza o diferencia todavía no se conocen. Son los aspectos del modelo que se investigan, que crecen.

Hesse además distingue entre analogías materiales y formales, y relaciones horizontales y verticales. Hay *analogía formal* entre dos dominios si las relaciones entre ciertos elementos de un dominio son idénticas o al menos comparables con las relaciones de los elementos correspondientes del otro. O sea que, por ejemplo, las relaciones podrían describirse mediante ecuaciones similares (isomórficas). Las *analogías materiales*, a su vez, requieren que los dos dominios o análogos tengan al menos ciertas propiedades fácticas en común.

En cuanto a las propiedades, puede haber relaciones horizontales y verticales entre ellas. Las *relaciones horizontales* se refieren a las propiedades correspondientes (similares) de los dos dominios, y las *relaciones verticales* se dan entre las propiedades dentro de un dominio. Los dos dominios son formalmente análogos si son similares con respecto a sus relaciones verticales. Con estos conceptos se puede esquematizar un argumento analógico individual como sigue (Bartha, 2016):

D-FUENTE (F)	D-OBJETO (O)	Relaciones
P	P*	[analogía positiva]
A	~A*	[analogía negativa]
~B	B*	[analogía negativa]
Q		[analogía neutral]
	/∴ Q*	[analogía neutral] Conclusión plausible

Esquema del argumento analógico: Es plausible que Q* se acepte en el dominio-objetivo (d-objeto), debido a similitudes relevantes conocidas (o aceptadas) de O con el dominio-fuente F, a pesar de ciertas diferencias conocidas (o aceptadas). En este esquema, el argumento depende de propiedades dinámicas del objeto, esto es, de la analogía neutral.

Metamodelo heurístico

Por lo dicho se puede establecer como *metamodelo heurístico* que para el descubrimiento o la invención de un nuevo modelo científico **(M)**, definido como

$$M = \langle E,T,P,O,A,M,F,C \rangle$$

y establecido como *modelo-meta*, se puede proponer una heurística interactiva analógica sobre un *modelo-fuente* **(M'):**

$$M' = \langle E',T',P',O',A',M',F',C' \rangle$$

tal que sus elementos constitutivos sirvan de guía para la construcción de los componentes del modelo-meta, o modelo buscado, por medio de alguna forma de analogía o disanalogía.

El *metamodelo heurístico* es presentado aquí como un elemento auxiliar que puede ayudar para diversos fines (señalados más adelante al hablar de las funciones de la analogía) pero no es un instrumento que *garantice* que se alcancen. Tener a mano un martillo puede ayudar a clavar un clavo, pero no garantiza el éxito al hacerlo.

Limitaciones

Dos modelos análogos lógicamente (en su estructura formal) pueden describir sistemas de objetos análogos realmente (en su estructura óntica). Pero nada garantiza que a partir de modelos excelentes y de analogías adecuadas se establezcan explicaciones o aplicaciones exitosas. La teoría puede ser incompleta, la simplificación inapropiada, el presupuesto y los recursos materiales o humanos insuficientes, los analogados-fuente seleccionados inadecuados, y otros factores que forman parte de la ecuación del éxito podrían no alinearse en las proporciones analógicas requeridas. Toda actividad humana, incluidas la ciencia y la tecnología, es una aventura. Al aplicar los modelos, si cualquiera de los componentes interfiere el proceso, se puede fallar. A partir de información teórica valiosa en sí (T), se pueden dar interpretaciones erróneas (A), y hacer diagnósticos o tratamientos (M) inapropiados para el problema (O).

El lenguaje de los modelos científicos y tecnológicos considerados en este artículo en su sentido ampliado incluye la dimensión semántica. Los términos variables en un contexto fáctico tienen referencia empírica. Sus indicadores son seleccionados y diseñados para detectar y medir dichas variables. Por ejemplo, en un diagnóstico por imágenes o en un análisis bioquímico de sangre de una persona hay una correspondencia entre los datos (icónicos o numéricos) de los indicadores y ciertos estados biológicos que guían las abducciones médicas cuyo resultado es el diagnóstico (esto es, la identificación del problema y de sus posibles consecuencias). La elección de los indicadores está íntimamente asociada con los conceptos teóricos y con los recursos tecnológicos disponibles para la investigación y para las aplicaciones previstas.

La cadena de abducciones junto con la valoración de las mismas, llamada *inferencia a la mejor explicación* (IME) presenta el problema de toda lógica no-monotónica: aunque la información de la teoría (T) sea correcta, los aspectos contingentes dados por el caso individual (O), las condiciones (C) y los métodos (M) de comprensión y de evaluación del caso requieren un constante ajuste de los componentes de los modelos conocidos para lograr la compatibilidad o sincronía analógica que permita el logro de los fines (F). Una manera de lidiar con lo imprevisto ha

sido la creación de modelos a partir de premisas axiomáticas. El problema de la no-monotonicidad de los razonamientos que refieren a la contingencia fáctica se ha intentado resolver reduciéndola a la monotonicidad deductiva. Una concepción ampliada de los modelos aspira a incorporar una lógica también ampliativa en la cual la analogía juega un papel central.

Funciones de la analogía

Las analogías tienen diferentes funciones en los distintos tipos de procesos, contextos, etc. Los principales roles de las analogías en ciencia y en tecnología, y los criterios que guían su funcionamiento, son los siguientes.

1) **Función heurística**

Tiene que ver con el acceso a los problemas, y a las respuestas provisorias (las hipótesis) o a los modelos tomados como hipótesis. Una de las funciones más útiles del razonamiento analógico es contribuir al descubrimiento del problema mismo, o de alguno de sus aspectos (O). Quien no duda, no investiga. La delimitación del problema y su correcta formulación son esenciales para poder definir el espacio de búsqueda(3) y las estrategias heurísticas para hallar alguna solución. Ante un problema dado en Cálculo, se busca y transforma en otro *equivalente* que sea más fácil de probar.

> *"La ciencia es una experiencia inmensamente creativa y enriquecedora; y está llena de novedad y exploración; y es para llegar a ellas que la analogía es un instrumento indispensable."* (Oppenheimer,130)

El matemático húngaro George Pólya propuso diversas *estrategias heurísticas* (M) en el ámbito de las matemáticas que pueden aplicarse a otras disciplinas. Por ejemplo: Hacer una conjetura y probarla, Buscar un patrón común o regularidad, Resolver un problema similar más simple, Representar gráficamente, Resolver un problema equivalente, o un caso semejante, Hacer uso de simetrías o de analogías, Reformular el problema, Analizar el problema desde diversos puntos de vista, Probar con diversas estrategias de solución.

Se puede adoptar como criterio: *"Los problemas que son esencialmente similares deben recibir esencialmente similar solución"* ("criterio de simetría" según van Fraassen, 1989: 236). También se pueden rastrear analogías no sólo en los problemas (O), sino en otros componentes.

2) **Función hermenéutica**

Tiene que ver con la interpretación teórica (T) de la evidencia empírica (O)(4). Se trata de establecer secuencias de una o más correspondencias entre características relevantes de dos dominios de objetos, lo que es un razonamiento por analogía que va de lo particular a lo particular, o de abstraer la metaestructura común de un conjunto de estructuras análogas entre sistemas-objeto o casos, lo que implica construir un metamodelo por analogía, de un nivel de abstracción superior.

El criterio guía puede ser: problemas similares pueden tener significaciones semejantes.

3) **Función explicativa**

Explicar un tema o problema presente o pasado (O) en ciencias fácticas es abducir sus fundamentos teóricos y empíricos. Según Hempel, los fundamentos pueden ser nomológicos, estadísticos, funcionales, o genéticos. La analogía acompaña en estos casos a la abducción. En otras palabras, se hace abducción por analogía. Para ello hay que tener en cuenta qué indicadores manifiestan qué proceso o característica. La *inferencia a la mejor explicación* (IME) consiste en evaluar la fortalezas y debilidades de las alternativas de interpretación abductiva que se presentan cuando un mismo hecho puede atribuirse a más de una causa, o se puede describir con más de una función, o desde más de una perspectiva, en función de las condiciones de contexto, para después decidir cuáles alternativas descartar, y cuáles tienen más y mejor apoyo que objeciones, y cuál es la mejor de ellas. Tanto la analogía como la abducción son métodos de resolución de problemas sujetos a error. Sus conclusiones deben ser tomadas como hipótesis que deben encontrar

fundamento en la teoría y corroboración en la experimentación (o, si ésta no es posible, en la observación).

> *"Uno nunca puede establecer que una teoría es correcta afirmando que es como alguna otra teoría que es correcta. El criterio de verdad debe provenir del análisis, debe provenir de la experiencia y de ese tipo muy especial de objetividad que caracteriza a la ciencia, a saber, que estamos bastante seguros de que nos entendemos y que podemos controlarnos mutuamente."* (Oppenheimer,130).

Toda explicación requiere del análisis, la experimentación, y la categorización de los términos explicativos. El uso de analogías suele ser de mucha ayuda:

> *"Incluso el análisis, incluso la capacidad de planificar experimentos, incluso la capacidad de clasificar las cosas y separarlas presupone una buena cantidad de estructura, y esa estructura es característicamente analógica."* (Oppenheimer,130)

Incluso se puede buscar el analogado principal, o analogado fuente en otra rama de la ciencia. Las analogías matemáticas en la estructura **(E)** cobran siempre especial relevancia en las explicaciones por analogía.

> *"Para obtener ideas físicas sin adoptar una teoría física, debemos familiarizarnos con la existencia de analogías físicas. Por analogía física entiendo esa similitud parcial entre las leyes de una ciencia y las de otra, lo que hace que cada una de ellas ilustre la otra. Así, todas las ciencias matemáticas se basan en las relaciones entre las leyes físicas y las leyes de los números, de modo que el objetivo de la ciencia exacta es reducir los problemas de la naturaleza a la determinación de cantidades mediante operaciones con números. Al pasar de la más universal de todas las analogías a una muy parcial, encontramos la misma semejanza en forma matemática entre dos fenómenos diferentes que dan lugar a una teoría física de la luz."* (Maxwell,156).

Como un ejemplo del uso de la analogía para sugerir una explicación que resulta exitosa:

> *"Busquemos dos cuerpos, ... el primero de temperatura más elevada que el segundo; si los ponemos en contacto ... sabemos que, eventualmente, alcanzarán igual temperatura. ... La imagen del calor que "fluye" de un cuerpo al otro es de inmediato*

sugerida a nuestro espíritu, por semejanza con el paso del agua de un nivel superior a otro inferior. Esta imagen, por primitiva que sea, parece concordar con muchos hechos, y puede establecerse la analogía siguiente:

Cantidad de agua	*Cantidad de calor*
Nivel superior	*Temperatura más elevada*
Nivel inferior	*Temperatura más baja*

El flujo continúa hasta que en ambos niveles, es decir, ambas temperaturas, se igualan. Esta concepción, ... es de gran utilidad en las consideraciones cuantitativas. En efecto, si se mezclan ciertas cantidades de agua y alcohol, cuyas masas, temperaturas iniciales y calores específicos se conocen, se puede calcular, de acuerdo con el punto de vista adoptado, la temperatura final de la mezcla. Inversamente, la determinación de la temperatura final nos permite, empleando procedimientos de álgebra, hallar la relación de los calores específicos de dos cuerpos." (Einstein & Infeld, 40-1)

Pero no se trata de establecer la teoría y por deducción puramente lógica demostrar que conduce a las leyes a explicar.

"... las analogías no son "ayudas" para el establecimiento de teorías; son una parte completamente esencial de las teorías, sin las cuales las teorías serían completamente sin valor e indignas del nombre. A menudo se sugiere que la analogía conduce a la formulación de la teoría, pero que una vez que se formula la teoría, la analogía ha cumplido su propósito y puede ser eliminada y olvidada. Tal sugerencia es absolutamente falsa y perniciosamente engañosa." (Campbell,129).

"Nunca es difícil encontrar una teoría que explique las leyes lógicamente; lo que es difícil es encontrar una que las explique lógicamente y al mismo tiempo muestre la analogía requerida." (Campbell, 130).

Es bueno recordar que las explicaciones analógicas pueden ser útiles para dar explicaciones de un modo hipotético, provisorio, y que luego deben ser sometidas al rigor probatorio. *"Si la prueba tuvo éxito, la ley seguiría siendo cierta, incluso si posteriormente apareciera que la analogía que la sugería era falsa; y si la prueba fallaba, seguiría siendo falsa, por completa y satisfactoria que pareciera ser la analogía."* (Campbell, 130). La

analogía ha sido cuestionada, con razón, porque si se la usa de manera no crítica "*se puede confundir la invención con la confirmación y la verdad*" (Oppenheimer,130).

Criterio: problemas similares pueden tener explicaciones similares. Una analogía en **(O≈O')** puede llevarnos a una analogía en **(T≈T')** y por tanto, en **(E≈E').**

4) **Función aplicativa**

Si una estructura, un método, una perspectiva determinados han contribuido a aplicaciones exitosas, podrían obtenerse buenos resultados con análogas estructura, método, y/o perspectiva.

Por ejemplo, el modelo de programación orientada a objetos (POO) ha establecido una relación jerárquica entre clases en la que hay clases que "*heredan*" las mismas características de otra, pero tienen otras propiedades que las diferencian, y las hace análogas. Esta relación entre clases pretende ser un paralelo con la herencia biológica. Y permite una importante economía por simplificación en el código.

La *innovación* en sus productos y servicios es una de las principales metas de todas las empresas e industrias. Eso las hace más competitivas. Las analogías son útiles para la creación de nuevos o mejores productos o servicios en beneficio de sus clientes. Cuando una empresa automotriz desarrolla un nuevo modelo de vehículo, o un ingeniero diseña un nuevo circuito, se mantiene la analogía estructural de los productos, y se modifican sólo algunos aspectos que, en general, no rompen la continuidad de la estructura que da identidad al producto.

Criterio: aplicaciones similares pueden tener éxitos y beneficios similares.

En ocasiones se apela a la *disanalogía*. Si un método no arrojó los resultados esperados, se puede intentar con uno inverso, uno opuesto, o uno complementario en algún sentido.

5) **Función educativa**

En los procesos de comunicación educativa las analogías se usan para transmitir información sobre un tema nuevo, para generar hipótesis en los ejercicios de resolución de problemas, o para inferir conclusiones a partir de analogías bien establecidas. El uso de analogías facilita el aprendizaje porque el estudiante accede a un dominio desconocido para él (su analogado-meta: el nuevo hecho, o la nueva ley) a partir de conocimientos ya poseídos (su analogado-fuente: otras teorías o hechos ya aprendidos) que comparten una estructura relacional (E) o características relevantes comunes. La combinación de analogías estructurales con semejanzas concretas favorece el aprendizaje. Bien empleadas, las analogías en la enseñanza estimulan el pensamiento crítico, y favorecen el "anclaje" de nuevos contenidos por medio de otros análogos (o contrastantes) formales y empíricos, ya aprendidos. Esto es transferible también al contexto de divulgación científica. Un ejemplo que ilustra lo afirmado:

> *"Un cuerpo es eléctricamente neutro cuando los fluidos eléctricos positivo y negativo se compensan mutuamente. Un hombre nada tiene, porque realmente nada posee, o porque su haber es exactamente igual a su debe. Se puede comparar, pues, el debe y el haber de su balance con las dos clases de fluidos eléctricos."* (Einstein & Infeld, 51).

Criterio: El vínculo de contenidos y procesos novedosos para el alumno con otros ya adquiridos y familiares, en todo o en parte, pueden favorecer el aprendizaje.

6) Función confirmatoria y demostrativa

Hay una cierta confirmación y refutación analógica en casos como la *experimentación con animales*, donde hay una base de similitudes genéticas conocidas con el ser humano. Los laboratorios farmacológicos usan animales como justificación empírica analógica (confirmatoria o refutatoria) en sus pruebas con medicamentos y vacunas.

En matemáticas, cuando hay que *demostrar* o refutar un teorema nuevo, por ejemplo, Pólya propone utilizar los

teoremas que ya han sido demostrados y que puedan ser útiles por analogía (Pólya, 66).

En Lógica proposicional, la *demostración* de validez inmediata desde el punto de vista sintáctico descansa sobre el principio de *analogía formal* entre cada forma argumental y una regla que fundamenta la consecuencia (Gómez, 2017). El novedoso método de *abducción formal* propuesto en (Gómez, 2017) renueva la concepción pragmática de la abducción ya que se la utiliza para demostrar en lugar de explicar. Y se aprecia la certeza en la heurística demostrativa cuando se combinan la deducción con la abducción formal, ambas fundadas en la analogía formal. Lo novedoso es que esta abducción formal *sí da certeza*. Esto es posible porque opera en un nivel sintáctico, en un dominio finito cerrado, y sus objetos (O) son construcciones a priori, ideales, ahistóricas. Cabe destacar que los modelos matemáticos se pueden concebir como idealizaciones. Luego, la modelización incluye también abducciones formales. Pero las mismas están sujetas a pruebas de su reajuste o adaptación a la realidad descripta. La demostración abductivo-deductiva, en cambio, se da en un argumento, que es un sistema cerrado y a priori.

Conclusión

Se estima que se ha alcanzado el objetivo de ofrecer una concepción más completa de los modelos y de las analogías de los mismos, de un modo introductorio. Esto permitió ofrecer un metamodelo heurístico que pretende ser una guía para la búsqueda y la evaluación de las analogías.

Y así se abre la posibilidad de desarrollar esta *heurística analógica* en ulteriores investigaciones que permitan mejorar y ampliar la propuesta realizada, tanto a nivel teórico como en sus aplicaciones prácticas. Una concepción ampliada de los modelos aspira a incorporar una lógica también ampliada.

Notas

(1) No se toman en cuenta los modelos cuyas relaciones son afectivas y concretas, por ejemplo, como cuando se toma a otra persona como modelo paradigmático o ejemplar de vida o de conducta.

(2) Los modelos tecnológicos fueron desarrollados con más detalle en Gómez, 2014, 49-63.

(3) La manera más segura de no encontrar algo es buscarlo donde no está.

(4) Aquí "interpretación" es el proceso racional que les da un sentido teórico a la evidencia empírica, a los datos (entrada). Ello supone un marco teórico (T) del agente. Si Newton no hubiera sabido Física, no habría podido abducir la ley de gravedad cuando vio caer la manzana.

Bibliografía

Bartha, P. "Analogy and Analogical Reasoning", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (2016), E.N. Zalta (ed.) URL=<https://plato. stanford.edu/archives/ win2016/ entries/reasoning-analogy/>.

Bunge, M. *(1992). La ciencia, su método y su filosofía.* México,sXX.

Campbell, N. R. (1920). *Physics: The Elements*. Cambridge: CUP.

Cuadrado, G.; Ortigala, J.; Gómez, L. (2013). Teoría, modelos y analogías. En Cuadrado, G. y Gómez, L. (eds.). *Educación de Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería.* Bs As: UTN.

Einstein, Albert & Infeld, Leopold. (1958). *La física aventura del pensamiento. El desarrollo de las ideas desde los primeros conceptos hasta la relatividad y los cuantos*. Buenos Aires: Losada.

Giere, Ronald N. (1999). "Using Models to Represent Reality". En L. Magnani et al. (eds.). *Model-Based Reasoning in Scientifc Discovery*, N.York/Dordrecht, Kluwer, pp 41-57.

Gómez, Luis; Cuadrado, Guillermo. (2013). Aportes al análisis de los razonamientos inductivo y analógico. En Cuadrado, G. y Gómez, L. (eds.). *Educación de Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería, ECEFI 2012.* Buenos Aires: U.T.N. pp.17-27.

Gómez, Luis. (2014). La validez de los modelos tecnológicos. En Cuadrado, G. y Gómez, L. (eds.). *Educación de Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería.* Bs.As: UTN, pp.49-63.

Gómez, Luis. (2015). Los componentes de los modelos. En Cuadrado, G.; Redmond, J. y López O., R. (eds.). *Conceptos y Lenguajes en Ciencia y Tecnología*. Chile, Univ. de Valparaíso. pp.73-81.

Gómez, Luis. (2017). Heurística demostrativa.. En Cuadrado, G. y Gómez, L. (eds.). *Ciencias de la ingeniería en el siglo XXI : nuevos enfoques en su lógica, enseñanza y práctica.* Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional. pp.63-80.

Hesse, Mary Brenda. (1966). *Models and Analogies in Science*. Notre Dame, Indiana: University of Notre Dame Press.

Keynes, J.M. (1921). *A Treatise on Probability.* London: Macmillan.

Maxwell, J.C. (1855). "On Faraday's Lines of Force", *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, Vol. X,. I, pp.155-88.

Oppenheimer, Robert. (1956). *Analogy in science*. American Psychologist, 11(3), 127-135.

Pólya, George. (1986). *Cómo Plantear y Resolver Problemas*. México: Trillas.

Van Fraassen, Bas. (1989). *Laws and Symmetry*. Oxford: Clarendon.

* * *

4

Foro Jurídico

El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP)

35

Implementación del Aprendizaje Basado en Proyectos en la Cátedra Legislación e Ingeniería Legal

María Elena Sottano

Resumen: El propósito de este trabajo fue la implementación de la enseñanza en las asignaturas LEGISLACIÓN E INGENIERÍA LEGAL, que tiene como base al Aprendizaje basado en Proyectos, (ABP) metodología que los profesores utilizan para que sus estudiantes adquieran conocimientos académicos, desarrollando habilidades cognitivas y socioafectivas, trabajando en un proyecto por un período de tiempo extendido, investigando y respondiendo a una pregunta compleja. Consiste en el desarrollo de un proyecto, por parte de los estudiantes, en el que buscan soluciones a problemas reales a través del planteamiento de nuevas preguntas, recolectando y analizando datos, reflexionando sobre su proceso de aprendizaje, trazando conclusiones, comunicando sus ideas, creando productos y compartiendo sus aprendizajes con una audiencia real, aplicándolo al diseño curricular de las asignaturas. Aporta el aumento de la motivación y compromiso con su propio aprendizaje, con lo que hacen más atractivas las clases. Permite la autonomía en los estudiantes, siendo ellos quienes pueden escoger el tema de trabajo y las decisiones que toman durante el desarrollo del proyecto alcanzando un aprendizaje significativo. Promueve el protagonismo del estudiante, colocándolo en el centro del aprendizaje, tomando la responsabilidad de aprender a través de su participación activa y su presentación ante el público con un enfoque basado en competencias genéricas y específicas.

Palabras Clave: Aprendizaje, proyecto, proceso, competencias, habilidades.

Consideraciones generales

El aprendizaje basado en proyectos es una metodología que se desarrolla de manera colaborativa que enfrenta a los

estudiantes a situaciones reales que los lleven a plantear propuestas ante determinada problemática.

El proyecto es el conjunto de actividades articuladas entre sí, con el fin de generar productos, servicios o comprensiones capaces de resolver problemas, o satisfacer necesidades e inquietudes, considerando los recursos y el tiempo asignado.

Las causas que motivaron su implementación fueron la actualización y consolidación del modelo de la formación de los ingenieros, la consolidación del aprendizaje centrado en el estudiante, la definición de un modelo comparable internacionalmente, la determinación de un enfoque basado en competencias y descriptores del conocimiento y para asegurar el cumplimiento de las actividades reservadas definidas para cada título.

Los autores que proponen los modelos por competencias en educación consideran que el proyecto es una estrategia integradora por excelencia, y que es la más adecuada para movilizar saberes. (Díaz Barriga 2015, Jonnaert et al. 2006).

Los estudiantes que se encuentran involucrados en un proyecto pueden planificar el trabajo en equipo, escuchar a los compañeros del grupo y emitir sus propios juicios, negociar sus compromisos y tomar decisiones, evaluar en conjunto con la organización y así lograr el avance del equipo, y plantear soluciones a problemas y generar ideas innovadoras.

Etapas

Para la ejecución del proyecto y que este resulte exitoso es necesario, que los estudiantes presenten una necesidad o la prestación de un servicio, o una obra sobre la cual deben investigar y a partir de ella existen etapas que se dan en el proceso, las cuales se pueden identificar en las siguientes:

1. Planificación del proyecto y distribución de las tareas.

En esta primera etapa del proyecto los estudiantes deben idear, deben descubrir una situación vinculada a un tema vinculado con el marco curricular es lo que se va a trabajar en

el desarrollo del proyecto. Para esto el profesor puede ser que brinde distintas propuestas para que los estudiantes elijan la que les interese, o que los estudiantes elijan un dentro de la temática que les resulte de interés para proponer y comenzar a trabajar.

A partir de este momento se debe aumentar la motivación, la creatividad y el entusiasmo, acompañando la tarea con experiencias profesionales, demostrando la importancia del proyecto en la sociedad para descubrir el impacto que puede llegar a tener con su aplicación en el medio.

Se debe instar a la organización en equipo y a la distribución de las tareas de cada uno de los integrantes. El profesor en esta etapa debe actuar activamente con una dinámica que le permita una clara orientación y dirección en la implementación de la planificación de la temática propuesta.

2. Investigación y estudio del tema.

Los estudiantes con el objetivo de aprender el tema deben construir una profunda comprensión de los contenidos, que les permita adquirir y aplicar la información que obtengan en distintos contextos. El profesor debe promover la interacción y colaboración de las distintas tareas entre los de los equipos. Para alcanzar esta meta se debe buscar información, recolectar datos, descubrir situaciones que tengan relación con el tema elegido.

3. Programación de objetivos y plan de acción.

En esta segunda etapa los estudiantes deben generar un servicio, una obra, o un producto. Deben construir el aprendizaje durante el proceso y tener una relación directa con el resultado del aprendizaje. Deben determinar los objetivos, los recursos que cuentan para alcanzarlos y los tiempos. Esta propuesta requerirá de distintas actividades para evaluar su efectividad de las mejoras en el aprendizaje.

4. Implementación.

El docente debe estar presente para solucionar las dificultades que se presenten a los estudiantes para la

ejecución del proyecto y lograr cumplir con la planificación para asegurar la respuesta favorable de su presentación.

La labor del profesor es de asesorar, acompañar y resolver las inquietudes que tengan los estudiantes para lograr el objetivo propuesto.

5 .Presentación y evaluación de los resultados.

Con esta metodología los estudiantes son responsables del desarrollo de sus proyectos y su presentación frente al público. Esto requiere de una preparación previa, permitiendo la comunicación oral y escrita. El profesor debe contar con una guía de evaluación, con un puntaje y un criterio claro que permita determinar lo aprendido en el proyecto. Este proyecto finaliza con una evaluación final y completa que pondera lo logrado con lo aprendido por el estudiante.

Es importante que en esta etapa de evaluación se tenga presente:

- Una idea clara de los criterios para evaluar que deberá ser coincidente con los conceptos y objetivos brindados en el marco curricular.

- Los criterios deben ser integrales, debiendo vincular los contenidos con la relación con el tema elegido y los aspectos actitudinales. Estos criterios deben establecer la profundidad, alcance y precisión de los resultados del aprendizaje orientado a como este se concretizará. (pág.)

- Esta metodología espera la presencia de una evaluación continua, por parte del docente, en la cual se meritúen actividades definidas, mediante exposiciones, presentaciones escritas parciales, para ponderar el grado de avance de los grupos.

- Es necesario diferenciar, el trabajo grupal del individual, si bien este proceso implica una metodología grupal es imprescindible que se evalúe el trabajo individual de cada uno de los integrantes de los equipos.

En esta etapa se desarrollan habilidades socioemocionales, tales como la autoconfianza, autonomía y colaboración con sus pares (Thomas, 2000; ChanLin, 2008).

IMPLEMENTACIÓN

La aplicación de esta metodología está referida a las distintas especialidades de las carreras de Ingeniería y se debe tener en consideración el marco conceptual de la misma, para brindar la formación que el ingeniero requiere, por ello compartimos, que: " la ingeniería es la profesión en la que el conocimiento de las ciencias matemáticas y naturales adquiridas mediante el estudio, la experiencia y la práctica, se emplea con buen juicio a fin de desarrollar modos en que se puedan utilizar, de manera óptima materiales, conocimiento, y las fuerzas de la naturaleza en beneficio de la humanidad, en el contexto de las condiciones éticas, físicas, económicas, ambientales, humanas, políticas, legales, históricas y culturales." (1)

La práctica de la ingeniería comprende el estudio de factibilidad técnico-económica, investigación y desarrollo e innovación, diseño, proyecto, modelación, construcción, pruebas, optimización, evaluación, gerenciamiento, dirección y operación de todo tipo de componentes, equipos, máquinas, instalaciones, edificios, obras civiles, sistemas y procesos. Las cuestiones relativas a la seguridad y la preservación del medio ambiente son aspectos que la práctica de la ingeniería debe observar.(2)

Para ello se espera que el perfil del ingeniero, debe estar definido por "las actividades reservadas definidas para cada título, con el objetivo que el graduado posea una adecuada formación científica, técnica y profesional que habilite al ingeniero a aprender y desarrollar nuevas tecnologías, con actitud ética, crítica y creativa para identificación y resolución de problemas en forma sistémica, considerando aspectos `políticos, económicos, sociales, ambientales y culturales desde una perspectiva global, tomando en cuenta las necesidades de la sociedad."(3)

La definición de Ingeniería y Práctica de la Ingeniería brindan la descripción conceptual de las características del graduado y constituyen la base para el análisis de las cuestiones atinentes a su formación.

Esto lleva a la necesidad de proponer un currículo con un balance equilibrado de competencias y conocimientos académicos, científicos, tecnológicos y de gestión, con formación humanística.

Entendemos por competencias en el uso cotidiano, como sinónimo de aptitud, capacidad, habilidad, dominio, eficiencia.

Una competencia se define como la habilidad para satisfacer con éxito demandas complejas en un contexto determinado. (Rychen y Salganick, 2006 Proyecto DeSeCo, 2003, OCDE).

Este desarrollo de competencias sociales, políticas y actitudinales en los estudiantes, se pueden lograr alcanzando la posibilidad de: "desempeñarse de manera efectiva en los equipos de trabajo, comunicarse con efectividad, actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto económico, social y ambiental de su actividad en el contexto local y global, aprender en forma continua y autónoma, actuando con espíritu emprendedor (Confedi 2018).

Conclusiones

Consideramos que la implementación de esta metodología en el aprendizaje de las asignaturas, en que la elección de un tema vinculado con el marco curricular relacionado a la producción de un servicio, obra o experiencia, hace que el estudiante se involucre en temas que permiten la satisfacción de las necesidades existentes en la sociedad.

Con esta forma de abordar el estudio de la temática se trata en todo momento de hacerlo lo más palpable y asimilable a la realidad posible de modo que los estudiantes tengan una herramienta útil para encarar un futuro cercano.

Con respecto a la propuesta de los estándares para la acreditación de las carreras de Ingeniería en la República Argentina, se consideran entre los objetivos dispuestos, establecer "un modelo de aprendizaje centrado en el estudiante" (Confedi, 2018), quien deberá desempeñarse en un futuro con responsabilidad profesional dentro de un marco ético y con compromiso social.

El desarrollo de esta metodología permite cumplir con este objetivo, siendo los estudiantes, quienes deben estar motivados, para esto la tarea del docente es primordial, pudiendo ser tanto presencial como virtual brindando la asesoría permanente en el desarrollo demostrando interés y permitiendo la creatividad en forma constante en su preparación.

El trabajo con la didáctica de los proyectos pone al centro del proceso de aprendizaje a los estudiantes, ya que son ellos quienes toman la responsabilidad de aprender, a través de su participación activa en el desarrollo de un proyecto (Fundación Telefónica, 2014).

En definitiva, observamos que no son menores los beneficios que tiene la aplicación de esta metodología contribuyendo al protagonismo del estudiante, quienes se encuentran más motivados y tienen mayor compromiso con el aprendizaje alcanzando la posibilidad de solucionar problemas que se le presentaran, considerando que la asignatura le imparte los contenidos y les da los instrumentos para resolver las situaciones que se le presentan al estudiante pudiendo ser aplicados en el futuro del ejercicio profesional como ingenieros.

Citas

(1) CONFEDI 2018, Rosario junio, 2018

(2) CONFEDI 2018, Rosario junio, 2018

(3) CONFEDI 2018, Rosario junio, 2018

Referencias bibliográficas

Beyer, Landon, 1997, William Herard Kildpatrick. *Perpectivas: Revista Trimestral de Educación Comparada*, 27 (3),pp.503-521

ChanLin, L.J. (2008). *Technology integration applied to project-based learning in science. Innovations in Education and Teaching* International, 45, 55-65.

CONFEDI 2018, Libro Rojo, Rosario 2018.

Diaz Barriga, Frida, 2015 "Estrategias para el desarrollo de competencias en educación Superior" . En Carrillo, Gabriela (Ed). *Encuentro Internacional Universitario. El Currículo por competencias en la educación superior*.

Fundación Telefónica (2014) Monográfico *Aprendizaje Basado en Problemas*. Santiago, Chile

Gonzales Gonzalo Cobo, Valdivia Cañotte Sylvana Mariela, *Aprendizaje basado en Proyectos* , Pontificia Universidad Católica del Perú, Primera edición junio 2017.

Jonnaert Phillipe , Barrere Johanne, Masciotra, Domenico y Yaya, Mane 2006 *Revisión de la competencia como organizadora de los programas de formación: hacia un desempeño competente*. Ginebra: International Bureau of Education.

Kolansky Victor Andrés, Morano Daniel Enzo, Erck Isoldda Mercedes, Enriquez Hector Darío, "*Programa de Formación Docente para orientar su práctica hacia la formación por Competencias*" Primera Edición Mayo 2018

Thomas, J. W. (2000). *A review of research on project-based learn.*

* * *

36

El Desafío de Educar en Competencias. Competencias y habilidades para el Futuro Profesional en el Siglo XXI

Gabriela Alejandra Millares

Resumen: El propósito del presente trabajo es la implicancia de la incorporación del aprendizaje basado en competencias. Se pretende con esta formación lograr en el estudiante un "saber" que es la adquisición de conocimientos a lo largo de la carrera; un "saber hacer" que es el resultado de la puesta en práctica de conocimientos y habilidades y un "saber ser" que se refiere a los valores, recursos cognitivos y la autoestima Atento que asistimos a un mundo complejo, competitivo y en constante cambio, resulta imprescindible dotar a los futuros profesionales de las competencias y habilidades propias del siglo XXI. Dichas competencias están relacionadas con el manejo de la información, del conocimiento, con las necesidades que demandan los nuevos modelos económicos y sociales y con la tecnología. Su esencia no reside tanto en las propias unidades de conocimiento, sino lo que las personas pueden hacer con el mismo. La finalidad es la necesidad de la incorporación al proceso de aprendizaje de las competencias que permitan formar al profesional que demanda el siglo XXI, sobre todo teniendo presente su impacto potencial en el desarrollo de otras destrezas y habilidades.

Palabras Clave: Competencia, habilidades, saber hacer, cambio, profesional, siglo XXI.

Introducción

La formación por competencias parte de la premisa que vivimos en sociedad, es decir somos parte de un tejido social, tejido que construimos, reconstruimos y que podemos transformar, en el marco de una relación recíproca. En este contexto, aprender a ser competentes implica formarnos en una concepción no sólo personal, sino también cultural y socio-laboral, con el fin de lograr la autorrealización personal y contribuir a una convivencia pacífica. Esto es: formarse para

ser eficaz, para ser solidario en el encuentro con los otros y gestionar el propio proyecto ético de vida. (Tobón, 2005).

El término competencia tiene múltiples acepciones lo que posibilita que se haga un uso del mismo con distintas significaciones, y sobre todo afín al propósito de quien lo utiliza en su discurso. El presente trabajo no pretende ahondar en las diversas significaciones ni señalar las diferencias con otras instituciones; por el contrario se busca expresar una aproximación al concepto que permita centrarnos no en las competencias en sí, sino en la utilidad de incorporar las mismas al proceso de aprendizaje.

Así, una perspectiva amplia señala que las competencias son las capacidades que toda persona necesita para resolver las situaciones de la vida de manera eficaz, teniendo como fundamento un saber complejo que implica saber qué, saber cómo y saber ser persona en un mundo cambiante y competitivo.

Este paradigma plantea un cambio metodológico que implica correr el eje. Consecuentemente el proceso educativo deja de estar centrado en la enseñanza para fundarse en el aprendizaje.

En este nuevo escenario el estudiante tiene una participación activa en la construcción de su propio aprendizaje, en tanto que el docente asume el rol de facilitador de recursos, ya sea proporcionando información, herramientas, métodos, entre otros.

Se pretende con la formación por competencias que el estudiante no sólo sepa, sino también que sepa hacer. Este “saber hacer” no surge de la adquisición de conocimientos a lo largo de la carrera, sino que es el resultado de la puesta en práctica de conocimientos, habilidades, capacidades, creatividad, etc.

Resulta fundamental que el proceso de aprendizaje contenga una propuesta pedagógica que permita justamente el desarrollo de este “saber hacer”. En este contexto, integrar las competencias, implementar el aprendizaje por proyectos,

facilita y enriquece este proceso, a fin de lograr en el egresado este “saber hacer”.

Estos dos atributos “saber” y “saber hacer”, deben complementarse con un “saber ser”. Este último se refiere especialmente a la necesidad de trabajar sobre valores, actitudes, recursos cognitivos, la autoestima, la percepción del otro y el autoconocimiento, de forma tal que impacte de manera positiva en la persona y se proyecte en la sociedad.

El desafío de educar en competencias se traduce, desde la perspectiva institucional, en poder implementar procesos pedagógicos de calidad, recursos suficientes y autocrítica que permita repensar, redefinir y realizar los ajustes que resulten pertinentes; y que contribuyan a formar personas íntegras, idóneas, con un fuerte sentido de responsabilidad social incidiendo de manera directa en el desarrollo de la sociedad de la que forman parte.

Competencias y habilidades para el futuro profesional del Siglo XXI

Partiendo de este nuevo paradigma de educación por competencias, interesa detenernos en las competencias y habilidades que requerirá un futuro profesional del Siglo XXI.

El mundo ha cambiado y está en constante movimiento. Hoy asistimos a un mundo complejo, cambiante y competitivo. A ello cabe agregar, que el cambio se produce a una velocidad sin precedentes, planteando diversos desafíos: ¿Cómo abordamos la gran cantidad de información a la que podemos acceder con un sólo click? ¿Cómo procesamos la adquisición de conocimientos atendiendo a la velocidad de los cambios tecnológicos y la incertidumbre que esta situación genera? ¿Qué es la multiculturalidad? ¿Nos hemos detenido a reflexionar acerca de las herramientas que este nuevo siglo demanda?

El desarrollo económico, tecnológico y social actual exige también modificaciones en el sistema educativo, de manera tal que ofrezca nuevas habilidades y competencias, que permitan beneficiarse de las formas emergentes de

socialización y contribuyan de manera activa al desarrollo económico.

Cabe destacar que las competencias que se requerían en el Siglo XX distan de las que plantea el nuevo siglo. Las competencias del siglo XX estaban relacionadas con el modelo industrial de producción, en tanto que las del siglo presente están más relacionadas con el manejo de información, de conocimiento, con las necesidades que demandan los nuevos modelos económicos, políticos y sociales y sobre todo con la tecnología. A ello, cabe agregar que nos encontramos inmersos en un mundo que plantea nuevas formas de socialización y de adquisición de capital social, en donde las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) asumen un papel importante (OCDE, 2010)

En este nuevo escenario, se requiere que el profesional posea un conjunto de competencias y habilidades que se ajusten a la sociedad del conocimiento que va a incluir desde procesos de selección, adquisición, análisis de información hasta la colaboración en entornos sociales en red. En este contexto, la escuela y la universidad constituyen para muchos jóvenes la única forma de aprender tales competencias. De allí la necesidad de incorporarlas al proceso de aprendizaje, sobre todo teniendo presente su impacto potencial en el desarrollo de otras destrezas y habilidades.

A fin de determinar cuáles son estas nuevas competencias y habilidades, debemos comenzar por definir las mismas.

> "Surge del glosario de Cedefop de la Comisión Europea que habilidad es la capacidad de realizar tareas y solucionar problemas, mientras que competencia es la capacidad de aplicar los resultados del aprendizaje en un determinado contexto (educación, trabajo, desarrollo personal o profesional). Una competencia no está limitada a elementos cognitivos (uso de la teoría, conceptos o conocimiento implícito), además abarca aspectos funcionales (habilidades técnicas), atributos interpersonales (habilidades sociales u organizativas) y

> valores éticos. Una competencia es por lo tanto un concepto más amplio que puede, de hecho, componerse de habilidades (así como de actitudes, conocimiento, etc.)" (OCDE, 2010, p 6)

Es decir que la competencia es la habilidad de utilizar el conocimiento, las habilidades (destrezas) y actitudes en un contexto determinado.

> "La OCDE conceptualiza las habilidades y competencias para el siglo XXI de la siguiente manera: aquellas habilidades y competencias necesarias para que los jóvenes sean trabajadores efectivos y ciudadanos de la sociedad del conocimiento del siglo XXI". (OCDE, 2010, p.6)

> "En síntesis, podemos afirmar que las competencias para el siglo XXI se refieren a las maneras de pensar, interactuar con los demás y operar con herramientas de producción propias de la sociedad del conocimiento. Lo que mejor caracteriza su esencia no reside tanto en las propias unidades de conocimiento, sino lo que las personas pueden hacer con el conocimiento". (Educar Chile s.f.).

No obstante, cabe resaltar que no existe un acuerdo respecto de un conjunto específico de habilidades y competencias.

En las últimas décadas se han ensayado diversos marcos de comprensión de las competencias y habilidades requeridas para los futuros profesionales de este siglo. Así, tomando como eje el tiempo, podemos mencionar a título de ejemplo:

1) En el año 2003 se esbozó el denominado marco inicial para las habilidades identificando cuatro fundamentales: alfabetización en la era digital, pensamiento creativo, comunicación efectiva y alta productividad.

2) En el año 2006 se identificaron tres tipos de habilidades: 1) para el aprendizaje y la innovación (las 4 C): colaboración, pensamiento crítico, creatividad e innovación y comunicación; 2) para la información, los

medios de comunicación y la tecnología: alfabetización de medios, uso de la información y alfabetización digital.; 3) para la vida y la profesión: liderazgo y responsabilidad, productividad y transparencia y habilidades sociales e interculturales.

3) En el año 2009 se organizan las competencias en tres dimensiones: 1) dimensión de la información: a) subdimensión de la información como fuente (buscar, seleccionar, evaluar y organizar la información y b) subdimensión de la información como producto (modelar la información y el desarrollo de ideas propias); 2) dimensión de la comunicación: a) subdimensión comunicación efectiva y b) subdimensión colaboración e interacción virtual; 3) dimensión ética y de impacto social.

4) En el año 2013 se plantearon competencias de aprendizaje profundo: colaboración, creatividad, pensamiento crítico, ciudadanía, carácter (personalidad) y comunicación.

5) Finalmente en el año 2016 se presentaron 16 habilidades agrupadas en tres categorías: 1) seis alfabetizaciones básicas: lingüística, numérica, científica, tecnológica, financiera y cultural; 2) cuatro competencias: colaboración, comunicación, pensamiento crítico y creatividad e innovación y 3) seis actitudes y cualidades del carácter: curiosidad, iniciativa, persistencia, adaptabilidad, liderazgo, conciencia social y cultural. (Educar Chile s.f.)

Conclusión

La propuesta que se formula en el presente trabajo no se limita resaltar la importancia de incorporar la metodología de educación por competencias entendida como la búsqueda de eficiencia y eficacia en materia de educación puesta al servicio de los intereses económicos del momento; sino que trasciende este enfoque simplista y reduccionista, dado que pretende abordar también el proyecto ético particular de cada sujeto, de manera tal de lograr una integración que redunde

en un beneficio para la sociedad de la que forma parte el individuo en una continua relación de reciprocidad.

Consecuentemente se considera fundamental la consideración e implementación de las habilidades y competencias propias del siglo XXI, que atiendan a los cambios constantes que se presentan en la sociedad y que vinculen de manera integral las demandas económicas y socioculturales con el proyecto personal del futuro profesional.

En tal sentido, competencias como la responsabilidad social, el trabajo colaborativo, la autocrítica, el pensamiento crítico y lógico y la creatividad contribuyen no sólo a formar profesionales creativos, emprendedores y competitivos, que es lo que el sistema económico demanda; sino que favorece especialmente a que las personas desarrollen las competencias necesarias que requieren para su perfeccionamiento en los múltiples aspectos de la existencia humana, mediante el empoderamiento de los mismos.

Referencias

Cheryl Lemke (2004) NCREL: Estándares para un mundo moderno. Recuperado de http://eduteka.icesi.edu.co/articulos/EstMundoModerno

Educar Chile (sin fecha). *Competencias para el siglo XXI.* Escuela en Movimiento. Recuperado de http://escuelaenmovimiento.educarchile.cl/educacion-para-el-siglo-xxi/competencias-para-el-siglo-xxi

Esther Care. (2016) *Skills and a changing world. .Desafío para la educación del 2030. "Enseñanza y Aprendizaje en la Agenda E2030".* Recuperado de http://www.unesco.org/new/es/santiago/education-2030/.

Organización Para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) (sin fecha). Recuperado de https://www.oecd.org/centrodemexico/laocde/

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE (2010) *Habilidades y competencias del siglo XXI para los aprendices del nuevo milenio en los países de la OCDE*. Recuperado de http://www.ite.educacion.es/.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (sin fecha) *La definición y selección de competencias clave. Resumen ejecutivo*. Recuperado de http://deseco.ch/bfs/deseco/ en/index/03/02.parsys.78532.downloadList.94248.DownloadFile.tmp/2005.dscexecutivesummary.sp.pdf.

Patricio Meller (2016). *Una introducción a las habilidades escolares del siglo 21*. Primera edición: junio de 2016. Editor: Cieplan. Recuperado de http://www.cieplan.org/biblioteca/detalle.tpl?id=384.

Tobón, S. (2005) *Formación basada en competencias. Pensamiento complejo, diseño curricular y didáctica.* Segunda Edición, Bogotá, Ecoe Ediciones.

Tobón, S. (2013). *Formación Integral y Competencias. Pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación* (4ta Ed). Bogotá: ECOE.

* * *

37

Aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos. Impacto y relaciones en el medio universitario

Alicia Irene Vesella, Raul Francisco Romero Day

Resumen: El propósito de este trabajo es indagar las implicancias que se desprenden de un cambio de metodología en este caso ABP, Aprendizaje Basado en Proyecto, en los distintos actores del medio Universitario. Partiendo de la experiencia de la Cátedra, establecimos parámetros de trabajo y dejamos que los alumnos dejen volar la imaginación y la creatividad que investiguen y descubran en lo que los rodea los nuevos conceptos, poder asirlos, hacerlos propios y construir con ello los nuevos saberes, bajo la guía del docente que sabe las competencias que quiere alcanzar. La finalidad de esta investigación es aspirar a una transversalidad de las materias, logrando un aprendizaje integrado que se vuelca a la Sociedad en un proyecto terminado, devolviendo de esta manera con su aporte una pequeña porción de lo que ella les brindo para poder llegar al 3er. Nivel de enseñanza y también la Universidad cumple con su cometido de devolver al medio en que está insertada

Palabras Clave: Aprendizaje integrado, creatividad, competencias, transversalidad, aporte.

Si hablamos de ingeniería, en general, es un proceso de toma de decisiones para la solución de problemas dentro de un campo particular de acción. Esta toma de decisiones implica diferentes pasos, entre los cuales se destacan: delimitar la situación, plantear una estrategia de solución, obtener información experimental o teórica, analizar los datos y resultados, seleccionar los criterios valorativos sobre las posibles soluciones, elegir la variable óptima y corregir la decisión durante su implementación.

En la actualidad, el éxito en el campo laboral implica una capacidad para actuar y proponer soluciones en ambientes

cambiantes y poco definidos, interactuar en situaciones no rutinarias, sintetizar procesos de trabajo, tomar decisiones responsables y trabajar en equipo. Por lo tanto, los estudiantes universitarios necesitan adquirir no sólo la conceptualización en su disciplina, sino también una alta destreza específica en su campo de acción, razón por la cual, en este ambiente dinámico para la educación superior se impone una revisión crítica de la enseñanza tradicional y de las prácticas de aprendizaje.

Consecuentemente y dentro de este marco, el propósito de este trabajo es indagar las implicancias que se desprenden de aplicar un cambio de metodología, en este caso Aprendizaje basado en proyecto, ABP, en los distintos actores de la comunidad universitaria.

Así, el planteo de un cambio de metodología es un gran desafío que en un ambiente universitario se debe estar dispuesto a realizar en procura de alcanzar una mayor optimización del conocimiento, mayor motivación del alumno y, además, acercarlo a esa realidad cambiante donde va a desembarcar luego de conseguir su título de Ingeniero.

Puesto en marcha el proyecto y desde el momento que comenzó a trabajar con los alumnos, éstos mostraron una gran receptividad, sobre todos al conectarlos con el medio y ver todo lo que podían hacer, ayudar, conocer y observamos como el ABP estimula en los estudiantes el desarrollo de habilidades para resolver situaciones reales, con lo cual se motiva el aprendizaje, se genera entusiasmo con la investigación, la discusión y también proponen y comprueban sus hipótesis, poniendo en práctica sus habilidades en una situación real. En esta experiencia, el estudiante aplica el conocimiento adquirido en un producto dirigido a satisfacer una necesidad social, lo cual refuerza sus valores y su compromiso con el entorno, para lo cual utiliza recursos modernos y novedosos.

En este sistema de aprendizaje, los alumnos persiguen soluciones a problemas generando y refinando preguntas, debatiendo ideas, realizando predicciones, diseñando planes

y/o experimentos, recolectando y analizando datos, estableciendo conclusiones, comunicando sus conclusiones y resultados a otros, realizando nuevas preguntas y creando o mejorando productos y procesos. En definitiva se consigue la apropiación de conceptos teóricos presentados en los cursos y su posterior aplicación a la solución de situaciones reales por parte de los estudiantes.

La metodología permite asimismo trabajar en paralelo contenidos procedimentales y conceptuales. Permite la integración de asignaturas, reforzando la visión de conjunto de los saberes humanos. Como así también, permite organizar actividades en torno a un fin común, definido por los intereses de los estudiantes y con el compromiso adquirido por ellos. A mayor redundancia, fomenta la creatividad, la responsabilidad individual, el trabajo colaborativo y la capacidad crítica. Lo que luego permite observar nuevos ímpetus, la reactivación de la imaginación aletargada, la alegría del hacer y el probar ellos mismos cuánto pueden, descubriendo a veces hasta con asombro cómo resulta lo planeado y proyectado y cómo pueden aplicar conceptos y contenidos teóricos de las diferentes asignaturas.

En resumen, estas prácticas implican dejar de lado la enseñanza mecánica y memorística para enfocarse en un trabajo más retador y complejo, utilizar un enfoque interdisciplinario en lugar de uno por área o asignatura y estimular el trabajo colaborativo.

Conforme lo expuesto, el aprendizaje basado en proyecto permite fomentar la participación del estudiante en el proceso de aprendizaje consiguiendo mejores resultados, tanto por los conocimientos como por los hábitos adquiridos por los estudiantes, permitiendo el desarrollo de nuevas capacidades que complementan su formación y lo preparan para el mundo laboral. Entre las capacidades cabe destacarse el trabajo e interacción en grupo, aprendizaje autónomo, responsabilidad y manejo del tiempo.

El proyecto orientado a la acción para trabajar con alumnos con estilos de aprendizaje y habilidades diferentes, y donde

tendrán que trabajar en forma colaborativa en un proyecto que tendrán que diseñar siguiendo pautas iniciales que da el profesor y donde cada alumno tiene un rol individualizado con un objetivo a conseguir.

Los alumnos trabajan con total autonomía, abordando el caso o problema desde una perspectiva integradora de todos los espacios curriculares que posee la carrera. Se busca motivar y hacer participar a todos los integrantes del grupo en una tarea conjunta cuyos resultados son aplicables al mundo real y fundamentando sus propias decisiones.

Entre los beneficios de esta propuesta surge la actitud de cooperación y colaboración donde las tareas se diversifican para conseguir un objetivo común, poniendo cada uno las propias capacidades al servicio y beneficio de todo el grupo, desarrollando también los valores del compromiso y el esfuerzo personal y grupal.

En otro orden de ideas, resulta estimulante para el alumno asumir el rol de profesional para buscar soluciones o alternativas a la situación problemática planteada y más aún se sorprende al ver que empieza a conocer y desarrollar temas conexos ajenos al programa de estudio de la asignatura pero que son necesarios abordar y desarrollar en busca de solución, necesitan profundizar áreas no exploradas en el cursado pero que se ven en la necesidad de ahondar para sortear los obstáculos y avanzar con el desarrollo del proyecto y poder así alcanzar su cometido.

Al trabajarse desde el inicio en equipo, favorece en la búsqueda de solución al problema, presentando y compartiendo la información, poniendo en común las diferentes opiniones, potenciando de esta manera el valor del diálogo, respeto responsabilidad, esfuerzo en procura de buscar una solución más acertada para la problemática planteada, De esta manera se puede apreciar cómo va adquiriendo competencias profesionales tales como sensibilidad ante los conflictos, toma de decisiones, comprensión criticase puede ver como el proyecto de aula contribuye a la transferencia del conocimiento de los principios

teóricos presentados en clase, al desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo e incentiva el interés por la investigación.

Por otra parte, aplicar metodología ABP para el docente implica un cambio de paradigma donde las clases dejan de ser teóricas, en aula en frente a sus alumnos si no que en la educación basada en proyectos, los docentes necesitan crear espacios para el aprendizaje, dando acceso a la información, soportando la enseñanza por la instrucción, modelamiento y guía a los estudiantes, para manejar de manera apropiada sus tareas, animarlos a utilizar procesos de aprendizaje metacognitivos, respetarlos esfuerzos grupales e individuales, verificar el progreso, diagnosticar problemas, dar retroalimentación y evaluar los resultados generales.

Adicionalmente, los docentes necesitan crear un ambiente conductivo, con el fin de fomentar la indagación constructiva y asegurar que el trabajo se realice en una forma eficiente y ordenada, a la vez que debe actuar como orientador del aprendizaje y de los procesos, y dejar que los estudiantes adquieran autonomía y responsabilidad en su aprendizaje.

Todo lo anterior nos permite concluir que el proceso de aprendizaje se hace necesario tanto para el estudiante como para el profesor. El docente ya no sólo trasmite la información si no que posibilita el acceso a la misma y facilita el proceso de investigación.

En este contexto, el rol del profesor es más mediador o guía, y su labor se centra en encaminar al estudiante para que encuentre la mejor solución al problema, debe motivar, reforzar, facilitar pistas, ser flexible ante el pensamiento crítico de los alumnos, conocer y manejar el método científico y disponer de tiempo para atender inquietudes y necesidades de los alumnos.

El proceso de aprendizaje ya no queda circunscripto al aula si no que integra otros espacios y tiempo de formación tanto informal como formal, lo que obliga al profesor a dominar no solo los contenidos de la asignatura y los procedimientos a partir de los cuales desarrollar diferentes dinámicas grupales

que permitan su acceso al estudiante, flexibilidad, adaptabilidad y asumir el cambio de rol son necesarios para el docente.

En resumen, los procesos de reflexión y aplicación práctica desarrollados cíclicamente posibilitan una construcción constante del conocimiento un proceso en el que están implicados ambos actores, docente y alumnos.

Asimismo, el cambio de funciones del docente y del alumno permite hablar de una relación horizontal donde el conocimiento se construye desde una implicancia mutua y desde la cooperación y de esta forma el conocimiento se comparte y socializa deja de ser un instrumento de poder reservado solo al experto.

Consideramos que la Universidad debe vincular el proceso educativo del estudiante con su entorno a través del proceso de aprendizaje activo, integrado y constructivo para lo cual es necesario romper con el paradigma de la enseñanza tradicional. La metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos es un sistema de aprendizaje personal que combina teoría y práctica y que se aleja del sistema anterior basado fundamentalmente en la memorización que permitía el estudio concentrado o intensivo en determinados momentos.

EL ABP exige una dedicación al aprendizaje más constante y sistemática y un mayor compromiso del propio estudiante para planificar y gestionar adecuadamente su tiempo. También supone un mayor enriquecimiento de las metodologías de aprendizaje, un mayor seguimiento y tutoría de los estudiantes individual y grupal y toda una gama de técnicas de evaluación de los aprendizajes.

La implementación concreta y práctica de este enfoque implica un cambio de metodológico en el aula. No se trata de un mero cambio formal si no de una propuesta que pone al estudiante en el centro del proceso educativo, por lo que es claramente innovadora y superadora orientado al desarrollo de competencias genéricas y específicas de cada especialidad.

La tradición educativa de siglos ha puesto al docente como eje y protagonista de lo que ocurre en el aula De alii que en muchos cursos las clases expositivas sea el elemento primordial de la actividad educativa, si es que a eso se puede llamar ”actividad”, ya que propone a los estudiantes una actitud de meramente pasiva escucha y toma de notas de lo que el docente explica en frente. Por eso, el desafío que plantea este cambio de enfoque consiste en implementar un aprendizaje activo y basado en el estudiante.

Si hablamos de la Universidad Tecnológica Nacional, Institución comprometida con la enseñanza, y leemos su Estatuto, en el artículo 2 nos habla de la MISIÓN:”Es MISIÓN de la Universidad Tecnológica Nacional: crear, preservar y transmitir los productos de los campos científico, tecnológico y cultural para la formación plena del hombre como sujeto destinatario de esa cultura y de la técnica, extendiendo su accionar a la comunidad para contribuir a su desarrollo y transformación. A tales fines, la Universidad Tecnológica Nacional debe cumplir con el propósito de lograr los OBJETIVOS que se detallan a continuación: En relación con lo académico: a) Preparar profesionales idóneos en el ámbito de la tecnología capaces de actuar con eficiencia, responsabilidad, creatividad, sentido crítico y sensibilidad social, para satisfacer las necesidades del medio socio productivo, y para generar y emprender alternativas innovadoras que promuevan sustentablemente el desarrollo económico nacional y regional, en un marco de justicia y solidaridad social.”

En relación a lo Académico lo plasmado en el Estatuto de la UTN se refleja en los anhelos y el esfuerzo de los docentes que al desarrollar la clase buscan siempre innovar, motivar y hacer que los contenidos resulten apetecibles y así aprendidos por los estudiantes. En nuestra corta experiencia de aplicación de ABP, nos conduce a alcanzar mayor responsabilidad, creatividad y sentido crítico.

El estar planificando el desarrollo de la metodología con un proyecto que cubre una necesidad social nos adentramos en

el OBJETIVO: “En relación con lo social: Extender sus acciones y sus servicios a la comunidad con el fin de contribuir a su pleno desarrollo y a su transformación hacia una forma de sociedad más solidaria que brinde mejor calidad de vida a sus integrantes. Es por ello que, la Universidad Tecnológica Nacional consagra el derecho al ingreso irrestricto y a la gratuidad de la enseñanza en sus carreras de grado.”

Cabe resaltar y no es un tema menor que si partimos de la premisa que el hombre es un ser sociable y vemos que se realiza en sociedad, desde el momento que planteamos a los estudiantes el cubrir una necesidad social, sus pensamientos se multiplican igual que sus ansias por sortear los escollos que en el camino van encontrado en pos de hallar la solución a la necesidad detectada y que ellos eligen subsanar. Como contra partida encontramos una Comunidad ávida y feliz de recibir la ayuda brindada con solvencia, conocimiento y técnica, abre sus puestas para que mutuamente cumplamos nuestro cometido.

Así, el educando a través del proyecto aprende a hacer, a saber, y los docentes generan un nexo entre Comunidad y Universidad y al fin del semestre se concretan obras que dan prueba no sólo del saber hacer de los alumnos sino también de la internalización del conocimiento adquirido.

Un objetivo fundamental de la formación universitaria es que los estudiantes aprendan de forma independiente y sean capaces de adoptar de forma autónoma actitudes críticas que le permitan orientarse en un mundo cambiante. De forma tal que al empoderar a los estudiantes a aprender haciendo, logrando replicar sus conocimientos a la sociedad, realizando proyectos de la mano de profesores guías, quienes facilitan la utilización del método de aprendizaje centrado en el estudiante, se constituye un cambio de paradigma ya que la Comunidad impactada por los proyectos a las organizaciones no gubernamentales que acompañan el proceso, brindan la oportunidad de fortalecer el vínculo entre la Universidad y la ciudad donde está enclavada.

Todo lo cual se fundamenta en que la Universidad debe preparar a los estudiantes para que se incorporen a un entorno laboral diferente donde las situaciones y problemas que deben abordar se trasladan más allá de su disciplina y demanda métodos novedosos y habilidades para la búsqueda de solución.

La Universidad es el principal agente de cambio que debe proporcionar respuesta a los problemas de la Sociedad capacitando el capital humano que debe emprender el cambio. Es el ámbito donde se puede identificar los problemas que tiene la comunidad, siendo coherente con la enseñanza en el ámbito docente y descubre en el ámbito de la investigación Para un mayor ahondamiento en el tema si nos remitimos a nuestra Constitución Nacional donde en su artículo garantiza la educación pública y gratuita en el tercer nivel de enseñanza lo que implica que la misma es solventada por el pago de impuesto de toda la sociedad, todos los actores involucrados en esta metodología hemos visto con agrado el poder devolver a nuestra Comunidad algo de lo que ella invierte en nosotros para brindar una educación de calidad.

Referencias

Maldonado Perez, Marisabel. (2008). *Aprendizaje basado en proyectos colaborativos. Una experiencia en la educación superior*. Laurus, Vol.14, N 28, sep. n, p p 158-180 . Universidad Pedagógica Experimental Libertador -Caracas Venezuela.

Rodriguez Sandoval, Eduardo-Vargas solano, Edgar Mauricio- Luna Cortes, Janeth (2010). "*Evaluación de la estrategia, aprendizajes basado en proyecto*" Educacion y Educadores- Vol.13, N 1- Universidad de La Sabana, Cundinamarca, p p 13-25- Colombia.

* * *

38

Innovar con foco en el aprendizaje de competencias

Sebastián Alfredo Calvi

Resumen: El propósito de la innovación es encontrar y aplicar nuevos enfoques para abordar problemas existentes o necesidades no satisfechas. Ante el desafío de educar en competencias, nos encontramos frente un nuevo problema, que requiere de acciones distintas para lograr una adecuada solución. Innovar no implica necesariamente inventar lo que no existe, sino –y con menores pretensiones- iniciar un proceso divergente y convergente enfocado en el análisis de modelos educativos exitosos, y su adaptabilidad al medio específico y local que nos ocupa. La revisión literaria nos invita a centrar el proceso educativo en el aprendizaje del estudiante, más que en las enseñanzas docentes; como modelo educativo exitoso diseñado bajo dicha premisa llegamos a los que basan en proyectos: no entendido a este como una instancia final del proceso, sino como un fenómeno que ocurre y desarrolla durante todo el iter académico. El desafío de innovación educativa, entonces, consistió en adaptar el modelo educativo del ABP al aprendizaje que se desarrolla en una cátedra –Legislación en algunos casos, e Ingeniería Legal en otros- de las carreras de Ingeniería de la Facultad Regional Mendoza, de la Universidad Tecnológica Nacional, dando por resultado un nuevo modelo en permanente revisión y rediseño.

Palabras Clave: competencias, innovación educativa, aprendizaje basado en proyectos.

Introducción

El proceso de cambio -cualquiera sea el ámbito, los partícipes, las circunstancias y el objeto- genera temores, ansiedad y resistencia (Ivancevich, Konopaske, & Matteson, 2006, citado en Saravia 2015). Este “sentimiento negativo”, puede simbolizarse en la pregunta “¿por qué cambiar?

Con lo anterior se pretende advertir que los cambios no siempre son deseados, o responden a una necesidad común de las personas que en él participan, o -en un plano de mayor intimidad- quienes deben gestionarlo se identifican con él.

Sin embargo, en materia educativa, el cambio se erige como un mandato insoslayable en las acciones de enseñar y de aprender: si cambian los sujetos, el contexto y -en definitiva- aquello que se enseña, necesariamente debe cambiar eso a lo que se le llama "educación".

Con estas líneas sólo se pretende resaltar que en una mirada retrospectiva, el cambio surge como una constante variable en los procesos y sistemas educativos. Procesos y sistemas que en los primeros años del Siglo XXI demandan una atención a las competencias que los estudiantes necesitarán para insertarse en un mundo dinámico y complejo: el siglo XXI desafía y reorganiza los cimientos de nuestra sociedad en formas nuevas, poderosas y, a menudo, alarmantes (Friedman, 2007).

La primera conclusión preliminar a la que se arriba, no pareciera ser ningún hallazgo novedoso, sin embargo por más obvia que parezca, no es en vano enfatizar sobre la necesidad de cambiar procesos y sistemas educativos en sintonía con las competencias que demanda el Siglo XXI.

Las respuestas a esta necesidad de cambio aparecen ahora como la nueva preocupación, como el nuevo "sentimiento negativo".

En esas respuestas se centran estas líneas, que tienen ámbito, partícipes, circunstancias y objeto determinados: las cátedras de Legislación e Ingeniería Legal de la Facultad Regional Mendoza, de la Universidad Tecnológica Nacional (Argentina), integradas por seis abogados-docentes (tres de ellos con más de 20 años trabajando en las cátedras, y los otros tres con menos de dos años), cuyo cursado es semestral en comisiones integradas por hasta 50 estudiantes.

A modo de referencia, en el primer semestre del año 2018 se inscribieron 272 estudiantes, la mayoría de ellos en instancias

avanzadas de las respectivas carreras de Ingeniería que cursan (Electrónica, Electromecánica, Sistemas), y con un promedio de edad de 23 años.

Si bien los programas no son idénticos en todas las especialidades, comparten una estructura general de conocimientos y saberes que los estudiantes deben aprender, que –sólo a los fines de una mejor comprensión del lector- se podrían agrupar en tres núcleos: nociones básicas de derecho, instituciones básicas y particulares del derecho civil, e instituciones generales del derecho laboral.

El cursado es una exigencia para regularizar y aprobar el espacio curricular; tiene una carga de 6 horas semanales, las cuales se destinan en gran parte a impartir nociones teóricas, y en menor medida ejercicios prácticos. Es de tipo "promocional", es decir que aprobará el estudiante cuyos dos exámenes parciales – o sus respectivos recuperatorios – fueran ponderados con nota igual o mayor a 6, en una escala de 1 al 10.

De los descriptores agregados, se desprende que es un espacio académico un tanto extraño para el estudiante, cuyo vocabulario, metodología de aprendizaje y material de estudio no le resultan familiares o amigables: en pocas palabras se intenta enseñar derecho a estudiantes de ingeniería.

Innovación educativa

Es curioso que en los últimos años, en los ámbitos educativos se presente a la innovación como una noción novedosa. Ya desde la década de los setenta del Siglo pasado, los discursos académicos mencionaban la posibilidad y necesidad de innovar de manera constante los modelos educativos para que estos pudieran estar realmente aparejados a las necesidades de los estudiantes (Morales, 2010).

Ya sea por mandato, necesidad, o por aventura pedagógica, terminado el ciclo lectivo 2017, y en vistas al 2018, los docentes de las cátedras de Legislación e Ingeniería Legal coincidieron en cambiar la metodología de enseñanza.

A priori pareciera que cambiar, implica desandar todo lo andado, para realizar acciones absolutamente distintas hasta las entonces realizadas. El cambio asoma y suena a ruptura que impone algo novedoso, inexistente y desconocido.

Sin embargo, el desafío de cambio en las cátedras de Legislación e Ingeniería Legal, no trajo inmediatamente concesos sobre un impacto como el descripto; sino más bien –y de manera más modesta- se intentó encontrar y aplicar nuevos enfoques para abordar problemas existentes o necesidades no satisfechas; *innovar* de acuerdo a las palabras de Adarsh Desai.

Huelga tener presente que la innovación está impulsada por una comprensión sólida, mediante la observación directa, de lo que las personas quieren y necesitan en sus vidas y de lo que les gusta o les disgusta (Brown, 2008).

Es decir que con la innovación –como respuesta al cambio- no se pretende necesariamente inventar lo inexistente, sino algo mucho más sencillo como empatizar con quien se beneficia del producto o servicio; en este caso, con el estudiante.

Esta –en un sentido amplio de los procesos de innovación- es su primera etapa, centrada en la observación y comprensión. Es una invitación a despojarse del rol docente construido, para aventurarse en la experiencia del aprendizaje desde la percepción del estudiante.

Seguidamente, y luego de esta etapa divergente, le sigue una convergente, caracterizada por definir y precisar aquello que se intentará solucionar, para –nuevamente- divergir con la ideación de soluciones a tales necesidades; pero ya no desde lo establecido, sino, precisamente, desde la perspectiva del beneficiario-estudiante, perspectiva disruptiva, y -hasta en algún punto- incómoda.

Estos eventos divergentes y convergentes se suscitan reiteradamente en los procesos de innovación: ideando, prototipeando, testeando, y volviendo a idear.

Precisando en la innovación educativa, en general, implica la implementación de un cambio significativo en los procesos de enseñanza y de aprendizaje y considera modificaciones en materiales, contenidos, métodos y cualquier otro aspecto relacionado con la enseñanza (Ezpeleta, 2004). Particularmente como innovación educativa universitaria, se consideran tres tipos de innovación: la docente, la innovación en proyectos de I+D+i y la innovación institucional (García Peñalvo et al, 2017).

La innovación docente es la más frecuente, y es la que se materializa en las aulas entre el profesorado y suele tener un ámbito de aplicación determinado (un espacio curricular o académico concreto); ello implica que su alcance e impacto serán únicamente los estudiantes de este espacio.

Este fue el tipo de innovación desarrollado en las cátedras de Legislación e Ingeniería Legal; claro que la vocación de cualquier proceso de ideación, prototipeo y testeo aumenta en la medida de su reiterados intentos, pretendiendo transformarse en innovación de proyectos de I+D+i (investigación, desarrollo e innovación), e incluso institucionalizarse. Pero no serán esos los estadios de innovación educativa alcanzados con el proyecto de innovación objeto de las presentes líneas.

Recapitulando, entonces, luego de la decisión de cambiar como se enseñaba, se emprendió un proceso de innovación educativa docente, que consistió primeramente en empatizar con el estudiante, luego definir las necesidades que meritaban el cambio, y final y permanentemente, idear, prototipear y testear alternativas.

La ideación, claro está, nunca comienza de la nada. Esa es una falsa creencia: la innovación implicar única y exclusivamente crear lo inexistente. Según el grado de originalidad, se distinguen dos tipos de innovación: la incremental, que se da cuando se mejora un producto, proceso o servicio existente, y la innovación radical, cuando se constituye un nuevo producto, una aplicación novedosa o

una combinación de otros existentes, pero nunca usada o imaginada antes (Wasserman, 2012).

La labor –en esta fase y caso en particular- consistió en el análisis de modelos educativos exitosos, y –luego- su adaptabilidad al medio específico y local que fuera referido.

Por modelos educativos exitosos, se entendió aquellos que mejores resultados tienen en el aprendizaje de los estudiantes; aquellos por medio de los cuales los estudiantes aprenden más y mejor. Y con este enunciado, implícitamente, se definió algo en lo que las cátedras trabajarían para cambiar.

Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP)

Decisión de cambiar con la finalidad de que los estudiantes aprendan más y mejores competencias, a través de la innovación educativa universitaria docente, basando la etapa de ideación en el análisis de modelos educativos exitosos.

No hizo falta una indagación exhaustiva entre los modelos exitosos para dar con el modelo educativo finés, el que viene siendo noticia no sólo por sus resultados en las pruebas PISA de la Organización para el Desarrollo Económico (OCDE), sino por sus particulares características rupturistas de los modelos educativos tradicionales.

Teniendo en cuenta que el sistema educativo que se analizó es un sistema de nivel básico y medio, y no universitario –como sería el de las cátedras de Legislación e Ingeniería Legal -, y sin pretender remotamente agotar su caracterización, ciertos elementos del sistema educativo de Finlandia fueron los que precipitaron el prototipeo del proyecto de innovación de las cátedras: poner al estudiante como protagonista del proceso educativo; entender al docente como un potenciador, facilitador, alentador; preocuparse más en lo que se aprende, que en lo que se enseña; integrar el “aula” con la “vida real”.

De la simple lectura, tales caracteres sintetizan las aspiraciones de gran parte de los docentes. Pero, de una

relectura, y no sin una autocrítica sistémica, se concluyó que el modelo educativo universitario tradicional pone al docente como protagonista (no por nada se ubica frente al aula captando la atención de todos los estudiantes); el rol del estudiante habitualmente se centra en reproducir los conocimientos enseñados por el docente (sin que necesariamente los haya aprendido); parten de la premisa que el estudiante adolece de saberes, y quien los detenta es el docente, de allí que el tiempo se destina en su gran parte a enseñar, más que aprender; y finalmente, las aulas surgen como ámbitos artificiales y extraños a la vida real, vida que es compleja, caótica, desarrollándose en múltiples planos a la vez (por lo contrario del aula, en la que generalmente los estudiantes se ubican predispuestos en filas, unas tras otras, escuchan y tratan de decodificar la locución del docente, transitando este fenómeno con monotonía y reiteración).

Las características destacadas del modelo educativo finés, resultaron ser compartidas por una metodología con vasto desarrollo en varios países, la del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP).

El ABP es un modelo de aprendizaje con el cual los estudiantes trabajan de manera activa, planean, implementan y evalúan proyectos que tienen aplicación en el mundo real más allá del aula de clase (Blank, 1997; Harwell 1997).

El proyecto es un fenómeno real que debe dar respuesta a una necesidad determinada, y a diferencia de las metodologías pedagógicas que ejecutan un proyecto en la etapa final del proceso educativo, en el ABP el proyecto comienza desde el inicio, y es el eje en torno al cual se desenvuelve el aprendizaje del estudiante.

Las raíces teóricas del ABP se encuentran en la teoría de Dewey (1898-2010) en la que el autor defiende un aprendizaje basado en el aprender haciendo y en la reflexión sobre la experiencia.

Amén de la abundante literatura al respecto, y adaptando la síntesis de Arraussi y Ribosa (2017), el ABP se centra en

cuatro fases: 1) delimitar aquello que debe resolverse con el proyecto; 2) definir y llevar a cabo el proceso de indagación; 3) planear y ejecutar el proyecto; 4) presentar los resultados y la evidencia en una audiencia real.

A estas cuatro fases, corresponde agregarles hitos intermedios que favorecen al desarrollo de la metodología, como la formación de grupos y revisión y replanteo de las decisiones que cada uno de ellos va tomando.

Finalmente, y como datos de gran importancia, conviene apuntar los beneficios y las mejoras en el proceso educativo que diversos estudios y autores han encontrado sobre el ABP.

En primer lugar, la motivación: los estudiantes que aprenden con la metodología de ABP, aumentan la motivación y compromiso con su propio aprendizaje (Thomas, 2000; Walker & Leary, 2009). Esto se relaciona con que una de las condiciones básicas de esta metodología, es que se recojan los intereses de los estudiantes, y de esa forma hacer más atractivas también las clases.

La motivación de los estudiantes con el ABP se vincula con otra de sus características: que les ofrece a los estudiantes la oportunidad de resolver problemas reales.

Además de la motivación, los estudiantes aprenden los conceptos centrales y aprendizajes esperados de su nivel, alineados al marco curricular, y construyen una comprensión profunda del contenido, porque son ellos quienes necesitan adquirir y aplicar la información, conceptos y principios en diferentes contextos (Boaler, 1997). El ABP promueve el desarrollo de habilidades cognitivas complejas como la resolución de problemas (Gallagher et al. 1992; Finkelstein et al., 2010), y habilidades de pensamiento crítico (Mergendoller, Maxwell, & Bellisimo, 2005).

También, los estudiantes, mediante el trabajo con proyectos, desarrollan habilidades socioemocionales, tales como la auto-confianza, autonomía y colaboración con sus pares (Thomas, 2000; ChanLin, 2008). La autoconfianza se desarrolla ya que en la sala de clases se genera un espacio

donde los estudiantes son responsables del desarrollo de sus proyectos y su presentación frente a un público.

También el trabajo por proyectos permitió el desarrollo de la autonomía en los estudiantes, en la medida que son ellos quienes pueden escoger el tema de trabajo y las decisiones que toman durante el desarrollo del proyecto.

Por último, el trabajo con la didáctica de los proyectos pone al centro del proceso de aprendizaje a los estudiantes, ya que son ellos quienes toman la responsabilidad de aprender, a través de su participación activa en el desarrollo de un proyecto (Fundación Telefónica, 2014).

Los estudiantes van tomando sus propias decisiones, y discerniendo sus próximos pasos. El beneficio de lo anterior, es que de acuerdo a la Pirámide del Aprendizaje (Dale, 1969) el estudiante aprende el 90% de lo que dice y hace, frente al 20% de lo que escucha del profesor. Es decir, va generando aprendizajes más profundos y significativos.

Un modelo propio de ABP

Del cambio a la innovación. De la innovación al ABP. En pocas palabras ese fue el recorrido hecho por las cátedras de Legislación e Ingeniería Legal. Sin embargo el desafío adquirió matices más complejos con la decisión de implementarlo durante el primer semestre del ciclo lectivo 2018.

El primero de estos desafíos fue reconciliar la dinámica que hasta entonces se daba las cátedras, con una metodología que demuele la anterior.

Junto con ello, otro factor que debilitó el diseño de la iniciativa fue el tiempo: se contaría con la misma cantidad de horas en el aula para hacer lo que anteriormente se hacía, y ahora se le debía añadir la planificación y ejecución de un proyecto.

El programa de estudios declarado, a priori, debilitaba la factibilidad de la metodología: surgió una imposibilidad de controlar la interdisciplinariedad, por un lado, y un programa orientado completamente desde lo conceptual y teórico, sin

contemplar la enseñanza de habilidades y actitudes (competencias en sentido amplio).

Y quizás el mayor de los desafíos fue el repensarse y redefinirse como docente, por las limitaciones profesionales – la totalidad abogados-, y por el paradigma adquirido de los roles profesor-estudiante, para encarar la labor de impulsar proyectos que abarcarían áreas del saber totalmente desconocidas.

Sin embargo, no todo fue desafíos, sino surgieron oportunidades que fueron capitalizadas para afianzar la iniciativa. En particular la modificación en el sistema de evaluación dispuesta por la FRM-UTN a regir a partir del 2018, que en pocas palabras, estableció la necesidad de aprobar tres instancias evaluadoras, siendo la final de tipo integrador, y estando en cabeza de cada cátedra definirlas.

La respuesta a los desafíos y oportunidades que surgieron primigeniamente, modelaron el proyecto de cambio metodológico, asumiendo que tal iba a estar en un proceso de rediseño permanente.

En particular, las clases continuarían siendo en gran parte teóricas, y centradas sobre los conocimientos sobre derecho que los estudiantes deben aprender. En menor medida se dispuso de tiempo para las actividades que demandara el proyecto, y se ofrecieron otros ámbitos de interacción (clases especiales y de consulta, virtuales y presenciales).

Desde otra perspectiva, la realización del proyecto iba a requerir que los estudiantes dediquen más tiempo a las cátedras, al igual que los docentes.

Al ser la primera vez que las cátedras iban a enseñar competencias, se definieron aquellas habilidades y actitudes no declaradas en el programa de estudios, pero que serían necesarias para realizar el proyecto.

En el primer semestre del 2018 la metodología se compuso de dos etapas, las que los estudiantes reportaban con informes. Cada una de ellas fue precedida de la pauta en la que se

daban las instrucciones de qué se debía reportar, y de las competencias evaluadas.

La primera de ellas centrada en la planeación, la segunda en la ejecución, y como elementos comunes, la aplicación de nociones jurídicas enseñadas en clases y la demostración de todo avance a través de evidencias.

Desde la perspectiva del estudiante el modelo fue pensado en siete instancias, comenzado con la formación de grupos de hasta seis integrantes (1); siguiendo con la detección de una necesidad real, actual y social a solucionar (2); luego determinar el producto o servicio con el que se solucionaría la necesidad (3); continuadamente planificar todas las acciones necesarias para obtener el producto o servicio, como así también los recursos necesarios (4); posteriormente testear el prototipo de solución diseñada, y reformar la iniciativa (5); seguidamente ejecutar las acciones planificadas, junto a los contratos necesarios para ello (6); y finalmente presentar de manera oral el proyecto –y sus resultados- a profesores y compañeros.

El modelo se completó con la definición de las competencias que se requerirán para cada instancia, haciendo mayor hincapié en aquellas no declaradas por el programa. Así por ejemplo, se advirtió que el trabajo colaborativo tendría un puntaje asignado, y se debía evidenciar; la naturaleza social del proyecto a realizar, implicó el desarrollo de un sentido de responsabilidad y empatía social; todas las decisiones debieron ser argumentadas, de allí que también debían evidenciar tal habilidad es sus informes.

Así los más de 30 proyectos realizados en el primer semestre del 2018 fueron la tercera instancia evaluadora requerida por la nueva normativa universitaria. Evaluación que fue continua, que se conformó con la autoevaluación de los estudiantes, y representó un 30% de la nota final obtenida (el otro 70% lo representaron los exámenes parciales teóricos).

En el gráfico que se acompaña, se sintetiza la implementación del ABP en la cátedra de Legislación durante el primer semestre del 2018, que abarcó a seis comisiones de tres especialidades (Ingeniería Electrónica, Electromecánica y en Sistemas).

Conclusión

No quedará para esta instancia la conclusión con evidencias que la decisión de cambio, y la innovación a través de ABP trajo mejoras en el aprendizaje de los estudiantes. Incluso las conclusiones parciales de los resultados obtenidos en este primer testeo, quedarán reservadas para otro capítulo.

Por lo pronto, corresponde concluir que todo el camino recorrido en los meses que antecedieron a la decisión de innovar, y en los que se comenzaron a ver los cambios, los primeros beneficiados con ellos fueron los propios docentes que conformamos las cátedras.

Aprendimos a aprender de los estudiantes, cuestionando lo establecido y pretensamente inmutable, reconociendo que el fracaso educativo de un estudiante es, en gran parte, fracaso de los docentes.

Aportamos ya no de manera instrumental a la formación de futuros ingenieros; muy por el contrario, desde un espacio académico de saberes básicos, les permitimos ejecutar el quehacer de un profesional con los valores deseados para un ciudadano comprometido con el entorno.

Renovamos la adhesión al mandato insoslayable de cambio permanente en las acciones de enseñar y aprender, sin inventar nada nuevo, sino empatizando con el estudiante, y adaptando en las medidas de las posibilidades modelos educativos exitosos.

Referencias

Arrausi, J.J. y Ribosa, J, (2017) *Driving maps: El uso de mapas mentales para orientar el Aprendizaje Basado en Proyectos a través del Design thinking*, ESSAY Gráfica.

Blank, W. (1997) *Authentic instruction*. En W.E Blank & S. Harwell (Eds.), Promising practices for connecting high school to the real world (pp. 15-21). Tampa, FL: University of South Florida. (ERIC Document Reproduction Service No. ED407586).

Boaler, J. (1997). *Experiencing school mathematics; Teaching styles, sex and settings*. Buckingham, UK: Open University Press.

ChanLin, L.J. (2008). *Technology integration applied to project-based learning in science*. Innovations in Education and Teaching International, 45, 55-65.

Dewey, J. (1989). *Cómo pensamos: Nueva exposición de la relación entre pensamiento y proceso educativo*. (M.A. Galmarini, trad.) Barcelona: Paidós.

Dewey, J. (2010). *Experiencia y educación* (2da ed.) (L. Luziaraga, trad.) Madrid: Biblioteca Nueva.

Ezpeleta, J. (2004). *Innovaciones educativas. Reflexiones sobre los contextos en su implementación*. Revista Mexicana de Investigación Educativa, 9(21), 403-424.

Fundación Telefónica (2014) *Monográfico Aprendizaje Basado en Problemas*. Santiago, Chile.

García Peñalvo, J. F., Fidalgo Blanco, A. y Sein Echaluce, M. L. (2017). *Los MOOC, un análisis desde una perspectiva de la innovación institucional universitaria*. La cuestión universitaria (pp. 117-135)

Gallagher, S. A., Stepien, W. J. & Rosenthal, H. (1992). *The effects of problem-based learning on problem solving*. Gifted Child Quarterly, 36, 195, 200.

Harwell, S. (1997) Project-based learning. En W.E. Blank and S. Harwell (Eds.), Promising practices for connecting high school to the real world (pp. 23-28). Tampa, FL: University of South Florida. (ERIC Document Reproduction Service No. ED407586).

Finkelstein, N., Hanson, T., Huang, C. W., Hirschman, B., & Huang, M. (2010). *Effects of problem-based economics on high school economics instruction*. Washington, DC: U.S. Department of Education, Institute of Education Sciences.

Morales, P. (2010). *Investigación e innovación educativa*. REICE. Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en la Educación, 8(2), 47-73.

Mergendoller,J.; Maxwell,N. & Bellisimo (2006) *The effectiveness of Problem-based instruction: A comparative study of instructional methods and student characteristics*. The Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning,1 (2), pp. 49–69.

Thomas, J. W. (2000). *A revier of research on Project-based learning*.

Walker, A. & Leary, H. (2009). *A problem based learning meta analysis: Differences across problem types, implementantion types, disciplines, and assessment leves*. Interdisciplinary Journal of Problem-bases Learning, 3(1), 6.

Wasserman, M. (2012). *Innovación con conocimiento*. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 25(4), 537-538.

* * *

39

Aprendizaje Basado en Proyectos en la Cátedra de Legislación en Carreras de Ingeniería de la U.T.N., Facultad Regional Mendoza

María Cecilia Cipolla

Resumen: El propósito de este trabajo fue analizar los resultados obtenidos a partir del desarrollo e implementación del Método de Aprendizaje Basado en Proyectos para la Cátedra de Legislación. Advirtiendo que no sólo resultaría un verdadero desafío para la Cátedra en sí, sino que para los alumnos también, las reacciones de los estudiantes de Ingeniería fueron nuestras primeras devoluciones y ameritan un pormenorizado estudio. Conceptualizando y puntualizando en términos generales el primer impacto fue de asombro, preocupación y una cierta resistencia, ya que al poner en manos de los alumnos el protagonismo y el desafío de la realización de un objetivo concreto se produjo un cambio en la metodología tradicional. Las dudas que se plantearon fueron el tiempo para la realización de los proyectos; las temáticas a abordar y por último como afrontarían los supuestos costos. La finalidad de la introducción del A.B.P. en la incorporación y adquisición de conocimientos académicos en los estudiantes se vio reflejada en los logros obtenidos, que se hicieron evidentes a brevedad, el compromiso, el profundo sentido social de cada proyecto y los resultados prácticos resultaron de un atractivo muy especial, desarrollando habilidades cognitivas, pero también socio-afectivas de gran valor para la formación de profesionales para el Siglo XXI.

Palabras Clave: Aprendizaje; Proyecto; Resultados; Logros

La educación a nivel global atraviesa por un período de reorganización y reestructuración, el nuevo siglo, el avance incesante de las tecnologías y las diversas capacidades que se van desarrollando ponen en constante análisis y crítica los métodos de enseñanza.

Los desafíos son grandes, se trata, de la formación de los futuros profesionales que prestarán sus servicios en nuestro ámbito.

“Tradicionalmente, la enseñanza universitaria se ha desarrollado a través de clases magistrales, trabajando en pequeños seminarios o a través de la bibliografía básica de la asignatura. Al finalizar la materia, se procedía a la evaluación de los aprendizajes adquiridos por parte de los estudiantes, mediante una única prueba de evaluación, que solía consistir en un examen, generalmente escrito. En este sentido, Santos Guerra (2015) apunta que los docentes somos máquinas de evaluar y los aprendices máquinas que son evaluadas. Durante todo el proceso el estudiante permanecía en un segundo plano y, el protagonista indiscutible, era el docente quien se encargaba de organizar y planificar el aprendizaje de los alumnos. No obstante, esta situación está cambiando en las aulas universitarias, ya que se han desarrollado metodologías docentes centradas en el aprendizaje del estudiante y que permiten su mayor implicación en el proceso de enseñanza (Vega et al., 2014). Se trata de las denominadas “metodologías activas”. Una de ellas es el Aprendizaje Basado en Proyectos, ABP o PBL por sus siglas en inglés (Project-BasedLearning). A partir de esta metodología, el alumno pasa a ser el protagonista del proceso de enseñanza y aprendizaje y el profesor un mediador o guía de dicho proceso (Vizcarro et al., 2008). Algunos de los puntos claves del ABP son que proporciona a los estudiantes contextos de aprendizaje reales (Buck Institute for Education, 2013); les implica en el diseño, la resolución del problema y, sobre todo, en la toma de decisiones y la actividad investigadora que conlleva (Grahame, 2011)”. (1)

Concretamente el Aprendizaje basado en Proyectos en la Cátedra de Legislación de la Universidad Tecnológica Nacional Regional Mendoza viene a completar la formación de los futuros Ingenieros en un el valor Justicia. Esto es importante para que sean protagonistas de la construcción de una comunidad más justa. Facilitar el acceso a la educación de calidad sostenida por los valores de justicia social, el respeto a las diferencias y el desarrollo moral de los alumnos. Cultivar la razón y el corazón; la inteligencia y la voluntad.

La idea de la justicia en la universidad tiene sentido si trasciende a la comunidad en la que está inserta, los claustros educativos integrados a la sociedad en forma de generar un "ida y vuelta". Desarrollar un pensamiento que permita mirar críticamente la realidad en la que vivimos.

Combinar procesos de aprendizaje y servicios a la comunidad es un método para unir el compromiso social con la incorporación de conocimientos, habilidades y valores. Aprender a ser competentes siendo útiles a los demás.

Aplicación en nuestra Cátedra de Legislación

La implementación del Método de Aprendizaje basado en proyectos no sólo resulto un verdadero desafío para la Cátedra, sino que para los alumnos también Se vieron sorprendidos, no era lo que se esperaban del cursado de una materia tan alejada a la realidad de la currícula de un estudiante de Ingeniería.

Al plantear el nuevo método de evaluación a los estudiantes del primer semestre del año 2018, la reacción fue de asombro y de preocupación. Como es de esperar, todos los seres humanos, ante lo nuevo, lo desafiante oponemos cierta resistencia.

Las principales dudas que plantearon fueron:

- El tiempo en el que se desarrollarían los proyectos.
- Qué temáticas se iban a abordar (se imaginaban grandes proyectos).
- Los costos de toda la puesta.

Con el transcurrir de las primeras semanas y luego de la entrega y la correspondiente corrección de la primera etapa del proyecto aumento la motivación y el compromiso con sus propios aprendizajes y la actitud cambió rotundamente. La primera etapa consistía en:

1. La formación de los grupos de trabajo.

2. La identificación de una necesidad social, real y actual a solucionar.
3. El desarrollo de la idea del producto o servicio a desarrollar.
4. La selección de los recursos necesarios.
5. La individualización de las actividades que pensaban que iban a tener que realizar hasta la finalización del proyecto.
6. La puntualización de las limitaciones y requerimientos que les podían surgir.
7. Una autoevaluación individual.

Con la puesta en marcha, **44 grupos** comenzaron la planificación, lo que determinó la unión de grupos con menos de **6 integrantes cada uno**.

Los alumnos entendieron lo que estábamos intentando lograr, que visualizaran cómo el derecho cruza transversalmente la vida de todos. Que las instituciones jurídicas que en la teoría estudian tienen su correlato práctico.

Los alumnos vieron que podían innovar, aplicar nuevos enfoques para abordar problemas existentes o necesidades no satisfechas y resolver problemas reales, Y así se dieron cuenta que necesitaban una comprensión más profunda de la materia porque necesitaban adquirir y aplicar información, conceptos y contenidos en diferentes contextos

Vimos como nuestros alumnos, no solo aplicaban contenidos de la currícula sino otros propios de derechos pero ajenos a la materia para poder resolver situaciones que el problema les planteaba.

Los hemos visto interactuar entre los diferentes grupos de alumnos planteando diferentes hipótesis y buscando soluciones y materiales necesarios para resolver los inconvenientes que la necesidad a solucionar les mostraba.

También cuando para poder solucionar el problema que habían abordado exigía un mayor dominio de conocimientos

específicos, propios de la especialidad, buscaban información y apoyo en libros y docentes de otras Cátedras que les pudieran brindar los conocimientos y guiar en una solución a los interrogantes que tenían.

Los alumnos inscriptos en el primer semestre fueron: **273**

Los que participaron de la realización de los proyectos: **214**

Los alumnos que aprobaron el proyecto: **179**

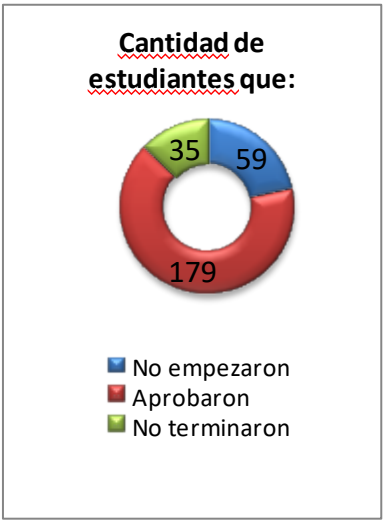


Fig.1. Porcentaje de alumnos que aprobaron

El compromiso de los grupos fue notorio y las exposiciones que realizaron muy satisfactorias. Vimos a nuestros alumnos empoderados y orgullosos de los conocimientos adquiridos no solo de derecho si no de poder dar aplicación concreta en una necesidad social, de los conocimientos la especialidad en Ingeniería que ellos estudian

Es evidente que por ser la primera implementación nos vimos frente a obstáculos que como Cátedra hemos tomado como parámetro para lo futuro. De hecho los proyectos que realizarán los alumnos del segundo semestre tienen

modificaciones, por ejemplo una concentración de las temáticas a abordar.

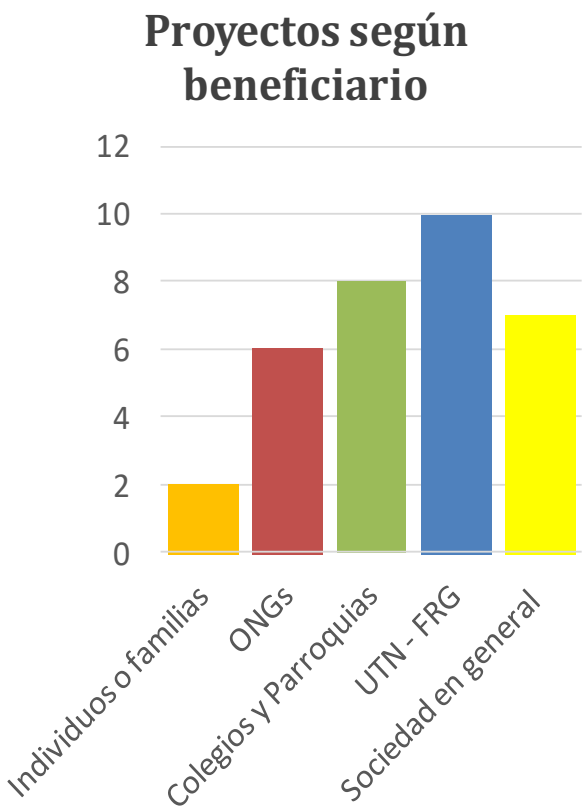


Fig.2. Intervención en distintas comunidades

Como se puede inferir del cuadro la intervención en distintas comunidades fue variada, pero se puede analizar cómo el propio ámbito de la Universidad fue el más elegido. Esto evidentemente se debe a que es el lugar más próximo a su alcance y del cual tienen un conocimiento extenso. Asimismo

se evidencia una actitud de agradecimiento hacia una institución que los está formando para enfrentar la etapa activa laboral con las herramientas y recursos que cuenta.

Conclusiones

Los estudiantes además de aprender los conceptos centrales de Legislación y los aprendizajes esperados de su nivel, alineados al marco curricular, construyeron una comprensión profunda del contenido, porque son fueron ellos los protagonistas, los que adquirieron y aplicaron la información, conceptos y principios en diferentes contextos.

El Aprendizaje basado en Proyectos promueve el desarrollo de habilidades cognitivas complejas como la resolución de problemas.

Como Cátedra evidenciamos que los estudiantes desarrollaron habilidades socioemocionales y una notable autonomía, en la medida que fueron ellos quienes eligieron los temas y las decisiones que tomaron a lo largo del desarrollo del proyecto.

Todo lo anteriormente manifestado pone de manifiesto que se generaron aprendizajes más profundos y significativos.

Referencias

Ausín, Vanesa, Abella, Víctor, Delgado, Vanesa, &Hortigüela, David. (2016). *Aprendizaje Basado en Proyectos a través de las TIC: Una Experiencia de Innovación Docente desde las Aulas Universitarias*. Formación universitaria, 9(3), 31-38. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062016000300005

* * *

40

Impacto en la Sociedad del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP)

Raúl Francisco Romero Day, Alicia Irene Vesella

Resumen: A veces muchas de las cosas que nos rodean parecen carecer de valor, de expresión, de simbolismo. Sin embargo, en forma inesperada, surge de ellas una vida nueva con identidad y pasado, convirtiéndose en elementos con espiritualidad, con existencia propia, al descubrirles alma, su historia y representatividad transformándose en gratas al intelecto, pareciendo invitar a ser estudiadas para llegar al fondo de su esencia, así puede resultar el impacto que emerge de un cambio de metodología de dictado de cátedra, en este caso A.B.P. (Aprendizaje Basado en Proyecto), en mérito a la nueva capacidad de observación, a la finalidad práctica y profundo sentido social que evidencia esta modalidad. Es indudable que esta novedosa forma de estudio acusará recibo en la sociedad, excediendo el medio académico para irrumpir en la vida, relaciones, pareceres, conductas y propósitos extramuros universitarios. Consecuentemente el propósito de esta investigación es determinar la repercusión en otros medios que no sea el estrictamente el académico, entendiendo que de esta forma también se garantiza la participación plural y crecen y se desarrollan los servicios educativos que prestamos. Buscamos develar si surgen diálogos fuera del ámbito educacional como una manera de construir consensos para llegar a acuerdos, generando un espacio que contribuya a mejorar en el educando su eventual desempeño laboral y en un futuro la sociedad pueda acudir por su ayuda y asesoramiento.

Palabras Clave: Observación, compromiso, consenso, desempeño laboral, sociedad, aprendizaje

A veces muchas de las cosas que nos rodean parecen carecer de valor, de expresión, de simbolismo. Sin embargo, en forma inesperada, surge de ellas una vida nueva con identidad y pasado, convirtiéndose en elementos con espiritualidad, con existencia propia, al descubrirles alma, su historia y representatividad transformándose en gratas al

intelecto, pareciendo invitar a ser estudiadas para llegar al fondo de su esencia, así puede resultar el impacto que emerge de un cambio de metodología de dictado de cátedra, en este caso A.B.P. (Aprendizaje Basado en Proyecto), en mérito a la nueva capacidad de observación, a la finalidad práctica y profundo sentido social que evidencia esta modalidad. Es indudable que esta novedosa forma de estudio acusará recibo en la sociedad, excediendo el medio académico para irrumpir en la vida, relaciones, pareceres, conductas y propósitos extramuros universitarios. Consecuentemente, el propósito de este ensayo es determinar la repercusión en otros medios que no sea el estrictamente académico, entendiendo que, de esta forma, también se garantiza la participación plural y crecen y se desarrollan los servicios educativos que presta la preparación universitaria.

En definitiva, se pretende determinar si, como consecuencia de este nuevo sistema de aprendizaje, surgen diálogos y repercusiones fuera del ámbito educacional como una manera de construir consensos para llegar a acuerdos, generando un espacio que contribuya a mejorar en el educando su eventual desempeño laboral y que la sociedad pueda acudir por su ayuda y asesoramiento, ponderando el impacto que genera fuera de los muros educacionales.

Asimismo se han analizado algunos factores externos e internos que influyen en el ejercicio de las funciones sustantivas de la universidad y que permiten discernir sobre la importancia de estrechar los vínculos de la universidad con la sociedad. Así también se considera necesario reconocer la importancia de la inserción de las universidades en la sociedad de forma útil y no sólo a través del graduado sino también por medio del educando.

Posiblemente este modelo implique un pequeño cambio al modelo educativo en vigencia pero también significa revisar y resolver problemas relacionados con este último y, de forma indirecta, lograr un mayor acercamiento a los problemas o necesidades de la comunidad y que éstos se resuelven.

En definitiva, se entiende que la educación no sólo consiste en la transmisión de conocimiento sino también en visualizar realidades y darles solución aplicando lo aprendido. Se logra una praxis previa al verdadero ejercicio profesional que prepara verdaderamente al alumno para los desafíos futuros. A mayor redundancia, se obtiene una preparación más integral del alumno y estrechan vínculos la universidad y la sociedad, vistos como individualidades, generando beneficios recíprocos.

El primer análisis que se debe efectuar es la necesidad de la propuesta y si existen antecedentes y en este sentido sabemos que el impacto de la educación en la sociedad y los beneficios que la primera genera en la segunda no es una idea original y mucho menos en nuestro país donde al menos dos grandes pensadores y políticos argentinos hicieron hincapié en la necesidad de la educación para solucionar los problemas sociales. Me refiero específicamente a Domingo Faustino Sarmiento y a Nicolás Avellaneda.

En este orden de ideas, Sarmiento tenía un alto sentido de la dignidad humana y concebía la educación popular como un factor prioritario del proceso de cambio y modernización social. Ya en 1849 advirtió sobre la conveniencia de considerar la formación del ciudadano desde el punto de vista de la economía política y sostuvo la necesidad de propiciar una enseñanza utilitaria, racional y científica. El “Padre del aula” no sólo fue un ideólogo de la educación popular, sino que se dedicó a hacerla real, tangible y, con esta meta advirtió la importancia de una educación pragmática, práctica, científica, laica y utilitaria, para todos, varones y mujeres, como modo de que la civilización triunfe sobre la barbarie. Buscaba específicamente transformar la sociedad a través de la educación, creía en el profundo impacto que la culturización producía en el medio, entendiéndolo como de ayuda recíproca y beneficios compartidos. Valga a título de ejemplo su famosa máxima: “Hombre, pueblo, Nación, Estado, todo: todo está en los humildes bancos de la escuela”.

Razón por la cual proponía una pedagogía de acción, cuyos principios doctrinarios, no siempre expuestos, se encuentran dispersos, sin sistematizar, en sus libros, artículos, informes, memorias y discursos, pero sin embargo hacen referencia a dos influencias pedagógicas: la francesa y la norteamericana. En efecto, este pensador prototipo de las generaciones del `37 y del `80, se nutrió de las doctrinas francesas de la segunda mitad del siglo XVIII, incluyendo aquella expuesta por Condorcet en sus memorias. Por su parte, la influencia norteamericana le imprimió el sello pestalozziano que Horacio Mann había difundido y le reveló la posibilidad y los medios para asegurar el éxito de la obra educativa en un país nuevo. Todo lo cual habilita a Sarmiento como un precursor de la pedagogía social contemporánea. De manera tal que con profunda intuición, vinculó la instrucción popular a los problemas y necesidades de la sociedad y del Estado y asimismo demostró que la sociedad tiene especial interés en asegurar a los individuos que la componen una preparación eficaz para el desempeño de sus múltiples funciones en la vida civilizada.

El autor de “Civilización y Barbarie” estimó que el progreso del país, su libertad, su bienestar y riqueza dependen del grado de cultura de sus habitantes. En este sentido expresó: “La dignidad del Estado -dice-, la gloria de una nación no puede cifrarse sino en la dignidad de sus súbditos; y esta dignidad no puede obtenerse sino elevando el carácter moral, desarrollando la inteligencia y predisponiéndola a la acción ordenada y legítima de todas las facultades del hombre.”

Sarmiento sostiene una confianza ilimitada en las posibilidades y efectos de la educación popular, afirmando el poder trascendentalísimo de la educación como medio de transformación social, política, económica e intelectual del país.

Por su parte, el tucumano Avellaneda propició toda su política educacional teniendo como objetivo la consolidación de una naciente democracia mediante la difusión de la cultura popular. Este pensador considera que la educación constituye

el eje alrededor del cual han de girar todas las actividades; visto que la política, la economía y la riqueza de un país dependen directamente de la educación pública. Agrega que nada tiene significado sin su concurso. Ésta fue la razón por la cual formuló la máxima que es de interés supremo para la Nación propender al mejoramiento moral e intelectual de las masas populares.

Ahora bien, teniendo en cuenta que no es nada novedoso en nuestro país la idea de vincular, en mérito a los importantes beneficios que implica, la educación con la sociedad, se debe recalcar que las tareas de la universidad a través del tiempo han tomando diferentes formas, a medida que cambian las necesidades sociales, en las que también confluyen los avances científicos y tecnológicos. Como consecuencia directa, aparecieron, por ejemplo, nuevas profesiones sobre todo relacionadas con los avances de la biología, de la medicina, de las nuevas tecnologías, de las comunicaciones, que junto con la computación y la Internet, están determinando la naturaleza y la dirección de la educación y de la cultura.

Tampoco debemos olvidar que los cambios más importantes en la forma como las universidades definen sus funciones, tienen que ver con grandes momentos sociales. Los grandes cambios culturales y científicos son los determinantes en los sistemas de enseñanza, así, a título de ejemplo, recordemos la revolución industrial, la era napoleónica, el establecimiento del socialismo en algunos países, etc.

Por otra parte, no debemos olvidar que a comienzos del siglo XX entraron en crisis los conceptos más básicos de la ciencia empírica dominante y con las propuestas de los neopositivistas germánicos se pudo introducir el empirismo lógico, que llegó a tener una influencia extraordinaria en la investigación. Todo lo cual nos permite afirmar que son los grandes cambios sociales y científicos los determinantes en los sistemas de enseñanza.

En la actualidad y como consecuencia de los profundos cambios sociales, se advierte que las funciones académicas

se interrelacionan entre sí produciendo sistemas complejos, de tal manera que la investigación debe articularse con la docencia, cuyo complemento tiene que buscarlo en la difusión de la cultura y en el servicio. Sin embargo, la investigación, la docencia y la difusión de la cultura representan momentos, por ello, no es posible hablar de algunas de estas funciones de manera individual, sin antes volver a aclarar que una universidad, como institución, integra todas estas actividades. Razón por la cual, cada vez con mayor frecuencia, las universidades tratan de involucrarse en actividades sociales, unas miran hacia las organizaciones de trabajadores o del campo, tratando de influir en el desarrollo del país; otras se vinculan con la producción industrial, buscando transferir tecnologías; otras más buscan vincularse a través de la investigación para mejorar las condiciones de calidad de algún producto; otras participan en el desarrollo de nuevos compuestos o se vinculan a través de la innovación tecnológica y otras prestan servicio enseñando a través de proyectos de contenido social, que sería el caso que nos ocupa.

De esta manera las universidades mantienen un vínculo con el exterior, lo que influye en el mejor conocimiento de los problemas del entorno e informa sobre la direccionalidad de las fuentes de trabajo, al tiempo que recuperan un saber que debe introducir en sus planes de estudio para buscar mayor capacidad de adaptación de sus egresados. Éste es precisamente el nexo, el vínculo, la conexión que se busca establecer con el método A.B.P.

De acuerdo a lo expresado precedentemente, cuando se habla de la vinculación de la universidad con la sociedad, lo que se pretende evitar es construir una universidad mercantilizada que se limite a informar, adiestrar y habilitar a los estudiantes a través de una enseñanza acrítica que transmite información mayormente importada, deje a los estudiantes incapacitados para la producción, adaptación y buen uso de los conocimientos y no se cumpla la función pedagógica y social perseguida.

Este planteo ya ha sido tendencia en muchas universidades europeas y algunas mejicanas buscando cambiar el concepto de enseñanza por el de aprendizaje, lo que quiere decir que el sujeto de aprendizaje es el estudiante o el profesional, o cualquier otro ciudadano que quiera avanzar en el conocimiento, soslayando las clases magistrales para dar espacio a la adquisición del conocimiento en base a la experiencia bajo la dirección del docente encargado de dar los principios o rudimentos básicos de la asignatura a cargo. En definitiva se aprende mientras se cumple con un servicio social universitario.

En el marco de estas nuevas tendencias universitarias la creatividad esté presente y se orienta a la transformación social y cultural, científica y técnica. Es decir, se pretende generar una universidad que nos sitúe en la sociedad del conocimiento, con capacidad reflexiva que lleve a construir explicaciones para dar sentido a las realidades del entorno contribuyendo al mejoramiento social y humano. Se pretende lograr una universidad que habilite competencias de los educandos para enfrentar los retos del nuevo milenio, que los ciudadanos así formados compartan valores de solidaridad y lleven la comprensión de pertenencia a un espacio social y cultural común.

Bajo este nueva corriente de educación, se multiplican los intentos por considerar que la educación consiste principalmente en la transmisión de una información neutra o técnica y que sólo se necesita la información que proporcionan los servicios educativos para formar profesionales para el mercado actual. En este sentido, la educación exige competencias personales y profesionales a fin de asumir las demandas de la sociedad, por ello la formación de los futuros profesionales debe ser multidimensional, interdisciplinar y transdisciplinar.

En tal sentido, aprender implica la participación activa de cada uno en su desarrollo profesional. Esta participación supone la mediación del formador basada en la interacción dialógica, horizontal, la relación entre pares, en el supuesto de que cada

ser humano como sujeto cognoscente, construye y reconstruye su propio conocimiento y luego su exteriorización fuera del ámbito universitario. Lo que nos permite concluir que la formación del futuro profesional debe asumirse desde la complejidad.

Conforme este marco, el A.B.P. se convierte en un espacio para la reflexión, el diálogo y el aprendizaje de la enseñanza; y por ende constituye una oportunidad para aprender, contrastar y reconstruir la teoría-práctica-teoría, abandonando el predominio de un currículum fragmentado y desvinculado de teoría y práctica y considerando que la enseñanza es un proceso incierto, marcado por la complejidad que exige desarrollar habilidades y competencias para investigar e innovar, ser creativos, hacer uso de los medios y recursos que contribuyan a optimizar los procesos de aprender y enseñar y, paralelamente, prestar un servicio a la comunidad.

Tampoco se debe olvidar que todo proceso de indagación de una realidad social exige la valoración natural, directa de sus características tal como ocurre el fenómeno en su contexto natural, razón por la cual se considera que la observación participante es relevante en la investigación educativa porque permite apreciar hechos y situaciones, manifestaciones necesarias para la comprensión de la dinámica socio-educativa. Asimismo los proyectos son una estrategia globalizadora y sistemática que incorpora conceptos, procedimientos y actitudes favorecedoras de experiencias significativas para construir conocimientos. En el caso del A.B.P., se debe enfatizar la colaboración entre el alumno o el equipo de alumnos y el docente con el fin de concretar la teoría práctica y el servicio a la sociedad.

Este nuevo sistema de aprendizaje no es meramente cognitivo sino que genera actividades basadas en la observación, en las sensaciones, en el planteo de interrogantes, en la imaginación, en el debate entre pares, y en la vinculación con la sociedad.

El objetivo es lograr un acercamiento a los conceptos, leyes y teorías científicas, así como a su metodología profundizando

debates relacionados a la aplicación práctica del conocimiento en beneficio social.

En definitiva, asumir el A.B.P. abarca construir acuerdos claros de trabajo entre los educandos, los docentes y la sociedad, lo que incluye crear y mantener vínculos colaborativos hacia adentro y hacia afuera de la universidad. De forma tal que se deben:

* Acordar alcances, prioridades, conjuntos de saberes y capacidades que resulten relevantes y pertinentes para poner en juego en una propuesta de aprendizaje integrado.

* Promover la conformación y articulación de grupos de trabajo de docentes y alumnos.

* Diseñar tareas relacionadas con el fortalecimiento profesional.

* Valorar el proceso y sus instancias exploratorias.

* Determinar las necesidades del medio social.

En el A.B.P. los desafíos no son ficticios, pues las situaciones problemáticas que ameritan soluciones creativas saltan a la vista. Tanto el sector público y como el privado son espacios propicios para que los estudiantes pongan en práctica sus conocimientos y habilidades al tiempo que desarrollan nuevas competencias. Sin embargo, uno de los grandes retos a los que deberá hacer frente este vínculo universidad-sociedad está relacionado con la demanda de recursos. Los alumnos y sus docentes deberán gestionar espacios en los que los estudiantes puedan realizar sus proyectos extra muros universitarios, así como solicitar el apoyo de evaluadores, jurados, críticos y especialistas en el área disciplinar correspondiente, para ofrecer a los estudiantes una experiencia de aprendizaje enriquecedora y significativa.

Este método de aprendizaje hace también a la extensión universitaria donde los estudiantes intercambian saberes y adquieren experiencias, pero no basta pensar que la universidad tiene que relacionarse con su entorno, sino que también corresponde centrarse en qué consiste esa relación,

quiénes están participando en dicho contexto y cuál es la estrategia más efectiva para vincular los actores. Debe concebirse como una acción complementaria donde todos los actores trabajan por una interacción permanente, dinámica e integral, haciendo de la formación y la investigación, herramientas valiosas para lograr esos objetivos, construyendo y desarrollando políticas públicas y la fortaleciendo alianzas con los diferentes actores, organizaciones y entidades.

La vinculación universidad-sociedad requiere hoy de enfoques diferentes, capaces de mutar de un paradigma asistencialista, a un entorno de aprendizajes mutuos y enfrentar los nuevos retos, por los cambios económicos, sociales y culturales del siglo XXI. En este sentido, el Dr. Francisco Telémaco Talavera, presidente protémpore de la Asociación de Consejos de Rectores de Universidades de América Latina y el Caribe, expuso oportunamente que la sociedad es el gran laboratorio que la universidad necesita transformar, y si la universidad no existe para ello, entonces no tiene razón de ser. Propósito que no difiere del explicitado en Nicaragua en noviembre del 2012, al decir: "*Hay que pensar cómo la comunidad se vincula con la universidad, si esto se logra vamos a organizar a la universidad de otra manera*".

Todo esto nos lleva concluir que las universidades han venido desarrollando mecanismos de vinculación, para tener una mayor pertinencia en su entorno social, como el emprendedorismo social, encuentro de saberes, la diversificación de programas con actores y redes sociales, innovación tecnológica y desde luego estas formas del aprendizaje que son los A.B.P., porque en definitiva y parafraseando a Luis Alberto Malagón Plata: "*La importancia de esa vinculación universidad-sociedad, es brindar una formación integral que le permita contribuir a las suficiencias necesarias para generar dinámicas de cambio, hacia una sociedad más justa e incluyente*".

La importancia de esa vinculación universidad-sociedad que se consolida a través de los A.B.P. es brindar una formación

integral que permita contribuir a las suficiencias necesarias para generar dinámicas de cambio hacia una sociedad más justa e incluyente.

Bibliografía:

García, R. (2006). Sistemas complejos. Conceptos, métodos y fundamentación de la investigación interdisciplinaria. Barcelona: Editorial Gedisa. Gascón. P. y Cepeda, JL. (2004).

-De la mercantilización a la transnacionalización de la educación superior. Reencuentro. Análisis de problemas universitarios. González-Casanova, P. (2001).

-La Universidad necesaria en el Siglo XXI. México: Ediciones Era. Montemayor, C. (2005). Educación Pública y Conocimiento Privado. Anuario Educativo Mexicano. México: Porrúa.

Los proyectos de aprendizaje interdisciplinarios en la formación docente. Interdisciplinary Learning Projects in Teacher Education- María Auxiliadora Chacón Corzo*, Carmen Teresa Chacón** y Yesser Antonio Alcedo. 1º Congreso Latinoamericano y II Congreso Nacional de Museos Universitarios.

Proyectos Interdisciplinarios Para Propuestas Educativas Innovadoras (Cabana, M. Florencia; Leoz, Mercedes; Santamaría, Mariana).

Dr. Roberto Escalante Semerena, Secretario General de la Unión de Universidades de América Latina y el Caribe (UDUAL), "La Extensión Universitaria, la Ciencia y la Innovación en la Universidad Contemporánea".

Nicolás Avellaneda (Carlos Péres de la Torre (h) (Ed. Planeta 2001)

Sarmiento (Compilación del Instituto Argentino de Estudios Constitucionales y Políticos – 2011 – Dardo Pérez Ghilou – Cristina S.

* * *